

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Дослідження напружено-деформівного стану силосу при дії сейсмічних навантажень

Виконав: студент 6 курсу, групи МБмн-61

спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Ріжко І.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Бодрова Л.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Данильченко С.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Бобик М.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
Кафедра будівельної механіки

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри буд. механіки

Ковальчук Я.О.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня **магістр**

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю **192 «Будівництво і цивільна інженерія»**

**Ріжко Івану Івановичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Дослідження напружено-деформівного стану силосу при дії сейсмічних навантажень**

Керівник роботи

**Бодрова Людмила Гордіївна, к.т.н., доцент**

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затвержені наказом по університету від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 року № \_\_\_\_

2. Термін подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи **Існуючі результати досліджень НДС**

**залізобетонних силосів при сейсмічному навантаженні**

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Особливості залізобетонних силосів; 2. Методика дослідження напружено-деформівного стану силосу при дії сейсмічних навантажень;

3. Розподіл напружень в залізобетонному силосі при дії сейсмічних навантажень;

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Графічний матеріал подати у вигляді презентації з використанням комп'ютерної техніки.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Бодрова Л.Г., к.т.н., професор		
Охорона праці	Каспрук В.Б., к.т.н., доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С., ст. викладач		
Нормконтроль	Данильченко С.М., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Особливості залізобетонних силосів		
2	Розділ 2. Методика дослідження напружено-деформівного стану силосу при дії сейсмічних навантажень		
3	Розділ 3. Розподіл напружень в залізобетонному силосі при дії сейсмічних навантажень		
4	Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Ріжко І.І. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Бодрова Л.Г. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СИЛОСІВ	9
1.1 Загальні відомості про залізобетонні силоси	9
1.2 Основні конструктивні особливості залізобетонних силосів	12
1.3 Основи розрахунку основних конструктивних елементів залізобетонних силосів	22
1.4 Вклад вчених у дослідження залізобетонних силосів	25
1.5 Використання засобів скінчено-елементного аналізу для оцінювання напружено-деформівного стану залізобетонного силосу при дії сейсмічних навантажень	21
1.6 Постановка задачі дослідження	27
1.7 Висновки до розділу 1	30
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНОГО СТАНУ СИЛОСУ ПРИ ДІЇ СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	32
2.1 Вимоги ДБН до залізобетонних конструкцій та технологій виготовлення	32
2.2 Вибір програмного комплексу для розрахунку параметрів НДС	34
2.3 Методика моделювання та чисельного розрахунку залізобетонного силосу при дії сейсмічних навантажень	39
2.4 Висновки до розділу 2	43

РОЗДІЛ 3	РОЗПОДІЛ НАПРУЖЕНЬ В ЗАЛІЗОБЕТОННОМУ СИЛОСІ ПРИ ДІЇ СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	44
	3.1 НДС в елементах залізобетонного силосу при сейсмічних навантаженнях	44
	3.2 Висновки до розділу 3	56
РОЗДІЛ 4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	57
	4.1.1 Організація охорони праці працівників на підприємстві	57
	4.1.2 Правила поведінки під час виконання робіт з монтажу залізобетонних конструкцій.	59
	4.1.3 Висновки до підрозділу 4.1	62
	4.2.1 Оцінка стійкості об'єкту будівництва до впливу ударної хвилі ядерного (техногенного) вибуху і заходи щодо підвищення стійкості.	63
	4.2.2 Організація і проведення досліджень з оцінки стійкості об'єкту будівництва в НС. Розробка заходів щодо підвищення стійкості промислового об'єкту	65
	4.2.3 Висновки до підрозділу 4.2	67
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	68
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69

## ВСТУП

Дедалі частіше в Україні затребуваними стають будівлі для зберігання різноманітної сільськогосподарської продукції. Оскільки кон'юнктура ринку продукції спонукає сільгоспвиробників реалізовувати виготовлену продукцію протягом 6-8 місяців то, найбільшу поширеність здобули будівлі та споруди для зберігання різноманітних зернових культур, зокрема залізобетонні силоси. Існуючі аналітичні способи розрахунку таких конструкцій дають потужний запас міцності. Визначені перерізи конструктивних елементів, з використанням аналітичних методів, дозволяють тривалий час сприймати навантаження від різноманітних факторів впливу (робочі, вітрові, снігові, температурні та сейсмічні впливи, аварійні ситуації тощо) без втрати несучої здатності[1].

Разом із вищенаведеними твердженнями не менш важливим та доцільним є комплексне питання економічної вартості та тримкості залізобетонних силосів в районах із сейсмічною активністю.

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) залізобетонних силосів при дії сейсмічних навантажень завжди було актуальною задачею. Оскільки при руйнуванні такого роду споруд виникають не лише матеріальні збитки у власників споруд та виробників продукції, а ще й виникає загроза продовольчої кризи обласного та державного рівня, яка поглиблюватиметься в період стихійного лиха (прояву сейсмічної активності). При експлуатації залізобетонних силосів значний вплив мають такі явища, що визначають тримкість та довговічність, як залишкові напруження, концентратори напружень, температурні впливи на етапі виготовлення, дефекти та неоднорідність матеріалу. Особливо важливо знати місця концентрації напружень для конструкцій, оскільки вони сприяють зародженню втомної тріщини.

Враховуючи вищезгадані явища та фактори, загальноприйняті методи розрахунку залізобетонних силосів доволі трудомісткі, що здорожчує конструкцію вже на етапі проектування та зумовлюють значні перевитрати

матеріалів в процесі будівництва. Поряд із цим, необґрунтований розподіл мас при сейсмічному впливі має катастрофічний ефект для залізобетонних силосів. [2, 3].

Сучасний стан розвитку електронно-обчислювальних машин та наявність значної кількості програмного забезпечення з використанням чисельних методів, дозволяє враховувати багато чинників для оцінювання тримкості залізобетонних силосів за умов багатофакторного комп'ютерного дослідження [4].

Дослідження НДС прийнятих конструктивно-економічних варіантів залізобетонних силосів дають можливість з високою долею вірогідності визначити функціональну придатність споруд, а одержані результати становитимуть теоретичний і практичний інтерес.

**Актуальність теми.** Зростаючий попит на споруди для зберігання зернових вимагає пошуку новітніх методик із використанням сучасних засобів розрахунку для визначення НДС таких споруд. Важлива стратегічна значимість силосів проявляється в можливості зберігання сотень тисяч тонн продовольства на тривалий час, а в період значних природних катастроф, зокрема землетрусу, це переходить і на загальнодержавне значення. Разом із тим, недосконалі методики розрахунку призводять до перевитрат, а отже і до удорожчання силосів вцілому. Поряд із цим, важливе значення має коректний розподіл мас та жорсткостей, що напряду вирішує завдання стійкості споруди при наявності сейсмічної активності. Тому раціональна методика з визначення НДС залізобетонних силосів при дії сейсмічних навантажень покликана вирішити завдання із зниження ресурсоемності при розрахунках та раціонального використання сировини та матеріалів при зведенні.

**Доцільність проведення досліджень** зумовлена тим, що отримані результати дадуть можливість забезпечити довговічність та економічність залізобетонних силосів впродовж їх експлуатації.

**Метою роботи є** визначення НДС залізобетонного багатокутного силосу при дії сейсмічних навантажень з використанням чисельних методів розрахунку.

**Завданнями дослідження є:**

- визначити основні конструктивні особливості залізобетонних силосів;
- виявити основні аспекти аналітичних розрахунків залізобетонних силосів ;
- провести аналіз досліджень інших авторів за тематикою кваліфікаційної роботи;
- визначити особливості розрахунку залізобетонних силосів при дії сейсмічних навантажень з використанням методу скінченних елементів
- розробити скінченно-елементну модель залізобетонного багатокутного силосу;
- провести розрахунок залізобетонного багатокутного силосу на дію сейсмічних навантажень чисельним методом;
- на підставі аналізу НДС дати рекомендації стосовно розподілу напружень та характеру деформацій залізобетонного багатокутного силосу при дії сейсмічних навантажень.

**Галузю застосування** результатів роботи є проектування, виготовлення, експлуатація та відновлення пошкоджених залізобетонних багатокутних силосів.

**Об'єктом дослідження** є залізобетонний багатокутний силос при дії сейсмічних навантажень.

**Предметом дослідження** є методика визначення НДС залізобетонного багатокутного силосу при дії сейсмічних навантажень з використанням чисельних методів.

**Методами дослідження** є метод скінченних елементів реалізований у прикладному програмному комплексі ЛІРА.



**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в тому, що отримала подальший розвиток методика комп'ютерного моделювання для визначення НДС багатокутного залізобетонного силосу при дії сейсмічних навантажень з використанням ПК ЛПА за рахунок верифікації результатів досліджень.

**Практичне значення отриманих результатів** Отримані в роботі результати досліджень можуть бути використані для вдосконалення та оптимізації конструкції багатокутних залізобетонних силосів при дії сейсмічних навантажень, а також в лекційних і практичних курсах.

**Апробація результатів магістерської роботи** виконана на III Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 23-24 квітня 2020 року).

**Публікація результатів магістерської роботи** здійснена у збірнику тез вищезазначеної конференції.

Робота виконана згідно з тематикою науково-дослідних робіт кафедри будівельної механіки ТНТУ та державними програмами надійності і економічності будівельних виробів, матеріалів і конструкцій.

**Ключові слова:** багатокутний залізобетонний силос, землетрус.

# РОЗДІЛ 1

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СИЛОСІВ

### 1.1 Загальні відомості про залізобетонні силоси

Силоси – це інженерні споруди у вигляді піднятих на опори призматичних або циліндричних ємкостей (рис. 1.1, а), які призначені для зберігання сипучих матеріалів, можуть саморозвантажуватися й за розмірами відповідають умові  $h > 1.5 \sqrt{A}$  де  $A$  - площа поперечного перерізу силоса в просвіті.

Відповідно для круглих силосів приймають  $h > 1.33d$ , а для квадратного  $h > 1.5d$  ( $d$  - діаметр кола, вписаного в квадратний переріз). У практиці проектування силосів за кордоном ця умова може бути іншою. Наприклад, у Америці до силосів відносять ємкості, коли  $h \geq 2d$ .

Силоси застосовують як у промисловості, так і сільському господарстві.

В них можуть зберігатися: цемент, вугілля, сода, зерно, комбікорми, мука тощо.

За формою в плані силоси споруджують круглі, багатогранні, шестигранні, прямокутні, квадратні (рис. 1.1, б, в). За кордоном зустрічаються силоси шестикутні і восьмикутні. Найпростішим і найпоширенішим розташування круглих силосів у плані силосного корпусу є шахові і рядові. Найбільш оптимальними за витратами матеріалів та вартістю є циліндричні силоси діаметром 6 м. У деяких випадках застосовують циліндричні силоси з більшими діаметрами (12 м і більше) із попередньо напруженою арматурою. В силосах прямокутних та квадратних у плані розміри сторін приймають у межах 3...4 м. Збільшення вказаних розмірів не рекомендується, бо це призводить до виникнення значних згинальних моментів і, як наслідок цього, значного збільшення товщини стінок.

За способом виготовлення силоси бувають монолітними та збірними.

Монолітні силоси залежно від форми у плані зводять із стінками товщиною 150...240 мм за допомогою переставної опалубки. Мінімальна

товщина стінки визначається умовами недопущення розривів у бетоні при переміщенні ковзної опалубки. Так, при діаметрі силосів 6 м товщину стінок приймають 160...180 мм, при діаметрі 12 м - 240 мм, для прямокутних - 150...160 мм. Основна перевага монолітних силосів - відсутність стиків, а основний недолік - складність виконання робіт. Для виконання робіт застосовується бетон класу не нижче В15 та арматура класу А-II у вигляді сіток.

Збірні силоси монтують із окремих елементів. Їх перевага - висока ступінь індустріалізації, а недолік - наявність швів, що веде до проникнення вологи. Збірні призматичні силоси зводять із збірних гладких або ребристих елементів з товщиною стінок відповідно 100 та 60 мм (рис.1.1 *д*). Клас бетону збірних елементів В25 та вищий. Висота ребер ребристих елементів - 150 мм.

Циліндричні збірні силоси при зведенні складають із суцільних кільцеподібних (у силосах з  $d < 6$  м) або сегментних (у силосах з  $d > 6$  м) елементів. Найширшого застосування набули силоси із сегментних елементів, яких може бути 4, 6 або 8 на одне кільце. Сегментні елементи збирають у кільце на оцинкованих болтах або зварюванням. Збірні кільця великих діаметрів попередньо напружують.

Застосування типу силосу залежить від матеріалу, призначеного для зберігання. Так, для зерна проектують силоси діаметром 6 м, цукру-піску 18...24 м, цементу - 12. ..18 м.

Широкого розповсюдження набули прямокутні та квадратні в плані силоси, які складають із 3-х окремих елементів: плит, Г-подібних та просторових блоків (рис.1.1 *з, д*). Об'ємні блоки виготовляють висотою 1,2 м.

Така конструкція окремих елементів дозволяє надійно перев'язувати вертикальні шви і таким чином підвищувати тріщиностійкість та жорсткість стін силосів. Об'ємні блоки виготовляють ребристими і гладкими. Найзручніше застосовувати блоки з гладкими стінами, оскільки їх простіше виготовляти й експлуатаційні якості таких блоків відповідають вимогам зберігання будь-яких сипучих матеріалів.

Силоси споруджують одиночними або у вигляді корпусів з дворядним або багаторядним розташуванням силосів (рис.1.1 б, в). При багаторядному розташуванні циліндричних силосів для зберігання матеріалів також використовується простір поміж ними.

Висота силосних корпусів, споруджених на звичайних ґрунтових основах, досягає 30 м, а на скелястих - до 42 м. Довжина корпуса силосів без виконання температурно-усадкових швів не повинна перебільшувати 45 м для циліндричних силосів і 42 м - для прямокутних[4].

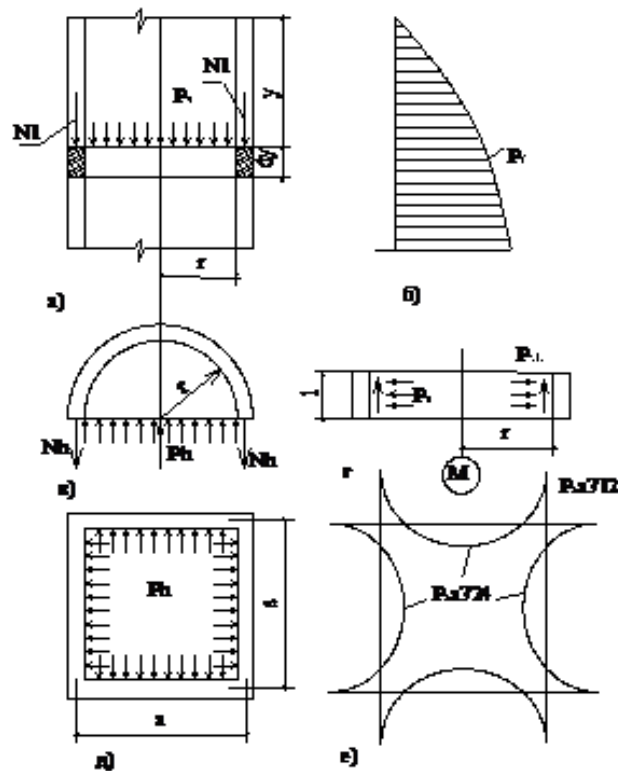


Рисунок 1.1 Розрахункові схеми стінок силосів:

- а – фрагмент вертикального розрізу; б – еюра нормального тиску сипучого матеріалу; в – схема визначення кільцевого зусилля; г – схема внутрішнього тиску від сипучого матеріалу;
- д – розрахункова схема стін силоса, квадратного у плані; е – еюра згинальних моментів у стінці прямокутного у плані силоса

## 1.2 Основні конструктивні особливості залізобетонних силосів

Розміри силосів, їх форма, кількість, способи обпирання на фундамент, а також розташування в плані призначаються відповідно до вимог технологічного процесу, умовами завантаження і розвантаження, а також виходячи з техніко-економічних передумов.

Силоси бувають круглими, квадратними, прямокутними, шестигранними і багатограними. Перевагу через простоту виготовлення віддають круглим силосам. При такій формі стінки працюють в основному на розтягуючі зусилля. Тому товщина їх може бути невеликою. Ці силоси доцільно виконувати з попереднім напруженням по зовнішньому периметру стін. Завдяки цьому бетон стінок отримує напругу стиснення, і в процесі роботи при належній величині зусилля стиснення ніколи не буде розтягнутий.

При проектуванні корпусів силосів круглої форми рекомендується передбачати їх розташування рядами (рис. 1.2, а). Шахматне розташування (рис. 1.2, б) допускається в окремих випадках, наприклад при розширенні існуючих силосних корпусів[4].

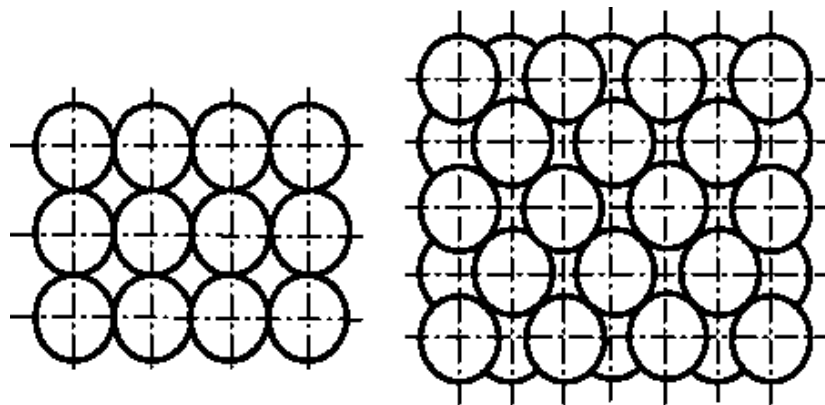


Рис.1.2. Корпуси з круглих силосів з різними схемами розташування силосів: а- з рядовим розташуванням циліндричних силосів; б-з шахмовим розташуванням

Якщо циліндричні силоси розташовуються впритул в два або кілька рядів, то між циліндрами (рис. 1.2, а, б) утворюються порожнини «зірочки», які

можуть бути використані як додаткові осередки для зберігання вантажу або для установки в них сходів, фільтрів та іншого обладнання.

При прямокутному, квадратному або шестигранному перерізах комірок силоси розташовуються впритул. При квадратному або прямокутному перерізі комірок зовнішній обрис всього силосного складу буде прямокутним (рис. 1.3, а). Квадратний або прямокутний перетин приймається в тих випадках, коли силоси повинні мати велику кількість дрібних комірок для зберігання різних вантажів або одного і того ж вантажу, але різних сортів.

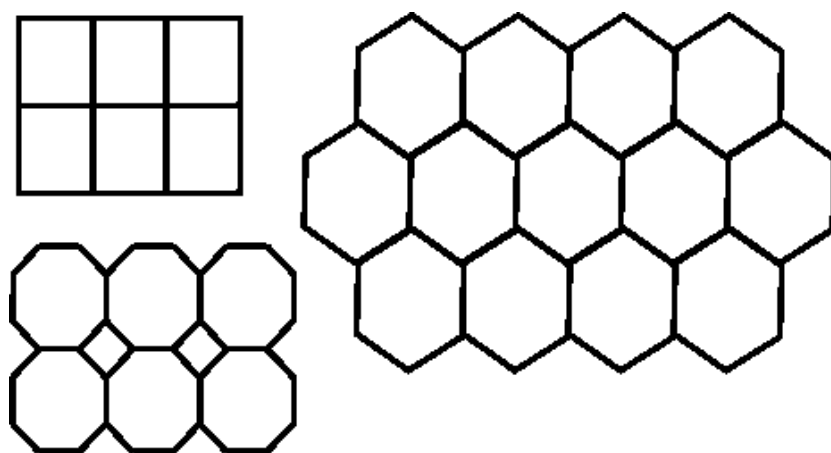


Рис.1.3. Корпуси з багатокутних силосів: а - з квадратними силосами; б-з силосами шестикутної форми; в-з силосами восьмикутної форми

Армування стінок монолітних циліндричних силосів здійснюють в'язаними сітками із стержневої арматури класу А 400С в горизонтальному напрямку та А 240С, А 400С — в вертикальному (рис.1.4, а, б, в).

Використання арматурних стержнів із сталі класу А 500С не допускається за умови розрахунків на розкриття тріщин у стінці.

Горизонтальна кільцева арматура стикується з перепуском у розбіг, при цьому на одній вертикалі не повинно бути розташовано більше 25% стиків[4].

Окремо розташовані циліндричні силоси діаметром до 6 м, а також внутрішні елементи (банки) силосних корпусів армують одиночною арматурою (рис. 1.4,б).

У стінках зовнішніх силосів корпусів на  $2/3$  їх висоти від низу застосовують подвійне армування (рис. 1.4, а), а у верхній частині - одиночне. Вертикальні арматурні стержні приймають діаметром не менше 10 мм, а для силосів діаметром понад 12 м - не менше ніж 12 мм. Ці стержні встановлюють із кроком 300...350 мм у стінках зовнішніх силосів і 400...500 мм - внутрішніх.

Стикування вертикальних стержнів із сталі класу А 400С здійснюють із напуском один на один довжиною  $35d$ , а для стержнів із сталі класу А 240С - на  $50d$ . Площа вертикальних стержнів повинна складати не менше ніж 0,4% від перерізу бетону. Горизонтальні стержні розташовують із кроком 200...100 мм.

Діаметр горизонтальних стержнів має бути не більше ніж 16 мм для силосів діаметром до 12 м та не більш як 20 мм для силосів діаметром 12 м і більше.

Стикують горизонтальні стержні з перепуском, рівним  $60d+200$  мм. Місця з'єднань сусідніх стінок силосів армують додатковими стержнями (рис. 1.4, в) з таким же діаметром та кроком, які прийняті для горизонтальної арматури.

Для попереднього обтиснення стінок монолітних силосів застосовують арматуру із сталі класів А 500С...А 700, канати К-7, а також пучки з дроту В-ІІ, Вр-ІІ. Довжина стержнів становить  $1/4...1/8$  довжини кола силоса. Ці стержні розташовуються у каналах або зовні стінок. Натягування арматури здійснюють гідравлічними домкратами з наступним анкеруванням у спеціальних потовщеннях.

Монолітні прямокутні та квадратні в плані внутрішні силоси, які можуть зазнавати двостороннього стиску сипучих матеріалів, армують з обох сторін.

При цьому горизонтальну пролітну арматуру стінок заводять за осьові стінки в перпендикулярному напрямку на  $1/3... 1/4$  прольоту, забезпечуючи тим самим сприймання на опорах моментів, які за величиною в 2 рази більші прольотних.

Зовнішні стінки квадратних силосів у прольоті армують одиночною арматурою, а внутрішні — подвійною. В кутах силосів із внутрішньої сторони

виконують вути й установлюють додаткову арматуру. Арматування стінок днищ силосів виконують аналогічно до армування стінок днищ бункерів.

Збірні силоси зводять із збірних замкнутих елементів. Для їх виготовлення використовують бетон класу не нижче В25.

Суцільні збірні кільця діаметром 3 м для циліндричних силосів виготовляють із попередньо напруженої арматури.

Об'ємні блоки-кільця збірних силосів можуть бути виготовленими з попереднім напруженням арматури. Найчастіше для цього застосовується дріт із сталі класу В-П. Напруження утворюють за рахунок намотування дроту навивальними машинами.

Усі збірні елементи призматичних та циліндричних силосів між собою з'єднують оцинкованими болтами[4].

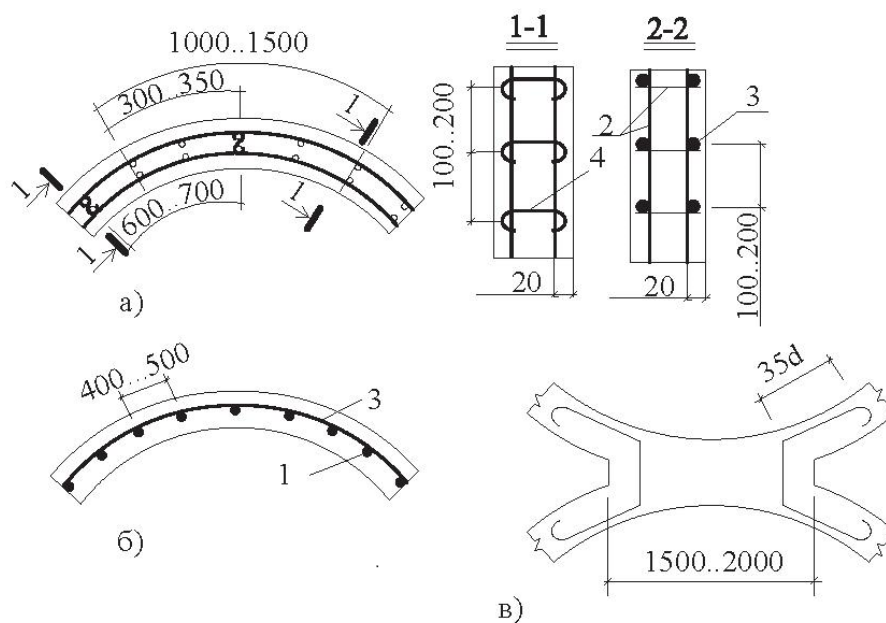


Рис. 1.4 Схема армування циліндричних монолітних силосів:  
 а – подвійне армування; б – одиночне армування; в – додаткове армування вузлів з'єднання силосів;  
 1 – вертикальна арматура; 2 – зварний каркас; 3 – горизонтальна кільцева арматура; 4 – шпильки.

Днища силосів різні; конструкція їх пов'язана з вибором розвантажувального обладнання і значною мірою залежить від властивостей матеріалу, який зберігають.



Силосні корпуси бувають з підсилосним приміщенням (підвалом) і без нього. Монолітні силосні банки, як правило, зводять у ковзаючій опалубці. Мінімальну товщину внутрішніх стін монолітних силосів приймають:

для квадратних силосів 3 x 3 м..... 150 мм

для круглих силосів діаметром 6 м..... 160 мм

також, 12 м і більше.....: .....240 мм

Товщину зовнішніх стін квадратних силосів 3x3м виконують не менше 160 мм, а зовнішніх стін круглих силосів діаметром 6 м - не менше 180 мм.

Стіни монолітних силосів виконують із бетону класу не нижче В20, а збірних залізобетонних силосів – не нижче В30.

Стіни силосів, як правило, наповнюють подвійною арматурою. Одиничну арматуру розташовують у багаторядних силосних корпусах у верхній зоні стін зовнішніх силосів протягом 1/3 їх висоти або по всій висоті стінок внутрішніх силосів.

Вертикальну арматуру із стрижнів  $d=10$ мм встановлюють з кроком 30 – 35см у зовнішніх стінах і 40 – 50см – у внутрішніх стінах. Діаметр кільцевої арматури періодичного профілю назначають не більше 16 мм, крок – 10 – 20см.

Для стінок, послаблених пройомами, стрижні вертикальної арматури встановлюють біля зовнішньої і внутрішньої сторін стін і зв'язують їх між собою хомутами.

У круглих силосах найкраще може бути використано попереднє напруження, яке можна підібрати так, що бетон у стінах буде сприймати напруження стиснення. Круглі попередньо – напружені силоси можуть бути монолітними або збірними, які збирають з окремих елементів.

При зведенні силосів із збірних залізобетонних конструкцій поділ їх на окремі елементи можливий як по вертикалі, так і по горизонталі. Значна висота ускладнює поділ конструкції тільки по вертикалі, так як в цьому випадку довжина кожного елемента буде дорівнює повній висоті силосу.

При вертикальному поділі силосу, вирішеного без попереднього напруження, потрібне стикування всієї робочої кільцевої арматури, що веде до

надмірної витраті сталі на стиках. Тому від такого способу зазвичай відмовляються.

У тих випадках, коли все ж влаштовується вертикальний розподіл стінок силосу, необхідно забезпечити в вертикальних стиках передачу повного зусилля в горизонтальній арматурі, що стикується. Стики повинні сприймати згинальний момент не меншої величини, ніж суміжний перетин елемента, у всіх силосах, включаючи круглі. В останніх при нерівномірному завантаженні можуть виникнути згинальні моменти.

При влаштуванні зварних стиків зі сталевими закладними частинами стики слід забетонувати, щоб оберегти їх від корозії. При проектуванні збірних силосів потрібно по можливості скорочувати кількість вертикальних стиків елементів стінки. Найбільш доцільним є зведення збірних силосів із замкнутих кільцевих елементів.

Силосний корпус для зберігання зерна ємністю 32 тис. т з урахуванням заповнення міжсилосних «зірочок» (рис. 1.5, 1.6).

Корпус складається з двох блоків по двадцять чотири круглих силоса в кожному. Діаметр силосів 6 м, висота близько 30 м. Вони встановлені в чотири ряди по шість силосів в кожному. Під силосами на колонах розміщується підсилосний поверх висотою близько 5 м, а над силосами влаштована галерея. Всі конструкції силосного корпусу, за винятком монолітної фундаментної плити, вирішені в збірному залізобетоні[4].

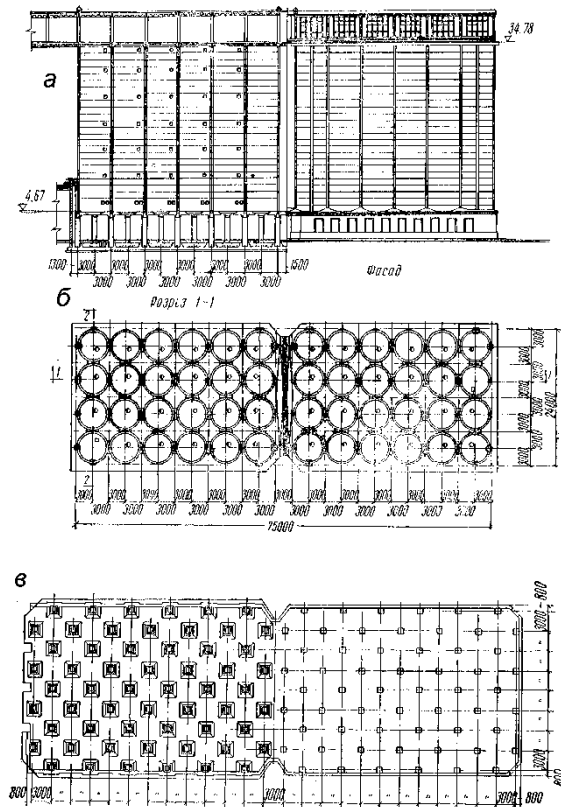


Рис.1.5 Силосний корпус, збірний із залізобетонних кілець: а- фасад і поздовжній розріз; б-план; в- план підсилосного поверху (справа) і фундаментної плити (зліва)

Колони підсилосного поверху розташовані в шахматному порядку з кроком 3 м (Рис. 1.5, в). Така розстановка дозволяє отримати економічні перерізи підсилосних і фундаментних плит. Збірні залізобетонні колони закладаються в опорні башмаки стаканного типу, передбачені в фундаментній плиті (Рис. 1.6, г).

Плити підсилосного поверху встановлюються по діагональній розкладці на колони і приварюються до них за допомогою спеціально передбачених закладних деталей в плитах і колонах (Рис.1.6, г, д, е). Розмір основних середніх плит в плані 4,2x4,2 м. Силосні банки виконуються із збірних залізобетонних кілець з зовнішнім діаметром 5,94 м, висотою 1,48 м і товщиною 12 см (Рис.1.6, е). Кільця армуються зварними сітками трьох типів в залежності від розташування кілець по висоті і банок в плані. Для нижніх кілець крайніх банок прийнята подвійна сітка арматури. У місцях сполучення

суміжних силосних банок передбачені монолітні «шпонки», армовані вертикальними просторовими зварними каркасами і сітками (Рис.1.6, ж). Це збільшує загальну жорсткість силосного корпусу і створює замкнуті ділянки між силосами.

Надсилосне перекриття запроєктовано зі збірних залізобетонних ребристих панелей розмірами 4,48x4,48 м і 3,97x3,97 м. Надсилосна галерея монтується зі збірних залізобетонних рам і двох типів панелей: покрівельної та стінової.

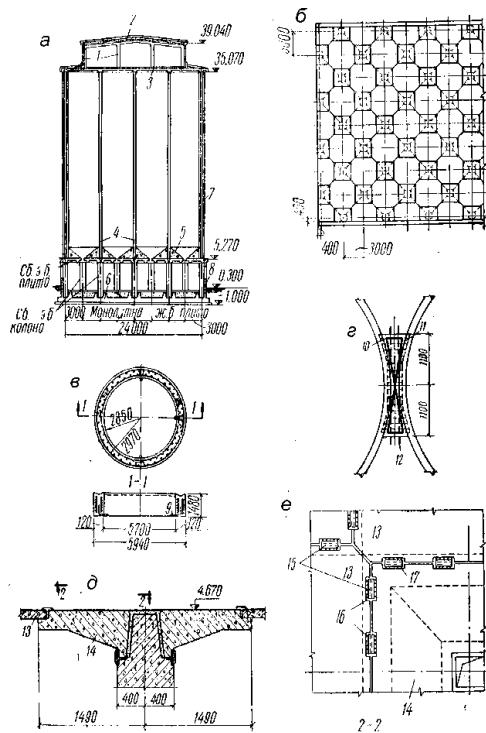


Рис.1.6. Силосний корпус, збірний із залізобетонних кілець: а- поперечний розріз; б-монтажний план підсилосного перекриття; в- збірне кільце силосної банки; г-колона; д, е-деталі кріплення елементів залізобетонного перекриття до колон; 1 - збірна залізобетонна рама; 2- великопанельні плити; 3-збірна залізобетонна плита; 4 - збірні залізобетонні кільця; 5- шлакобетон; 6 - монолітна залізобетонна плита; 7- пілястри в крайніх банках; 8- бетонні блоки; 9-петлі для монтажного риштування; 10 - арматурний каркас; 11- арматурна сітка; 12- виступ для кріплення опалубки; 13- підсилосна плита; 14-капітель; 15-металева накладка; 16-закладні деталі плити; 17- закладні деталі капітелі

Силос восьмикутної форми, сконструйований французьким інженером Жаном Кле (Рис.1.7), монтується зі збірних залізобетонних плит товщиною 5 см, посилених ребрами розміром 5x25 см. Кожна плита має розміри 2,75x0,39 м.

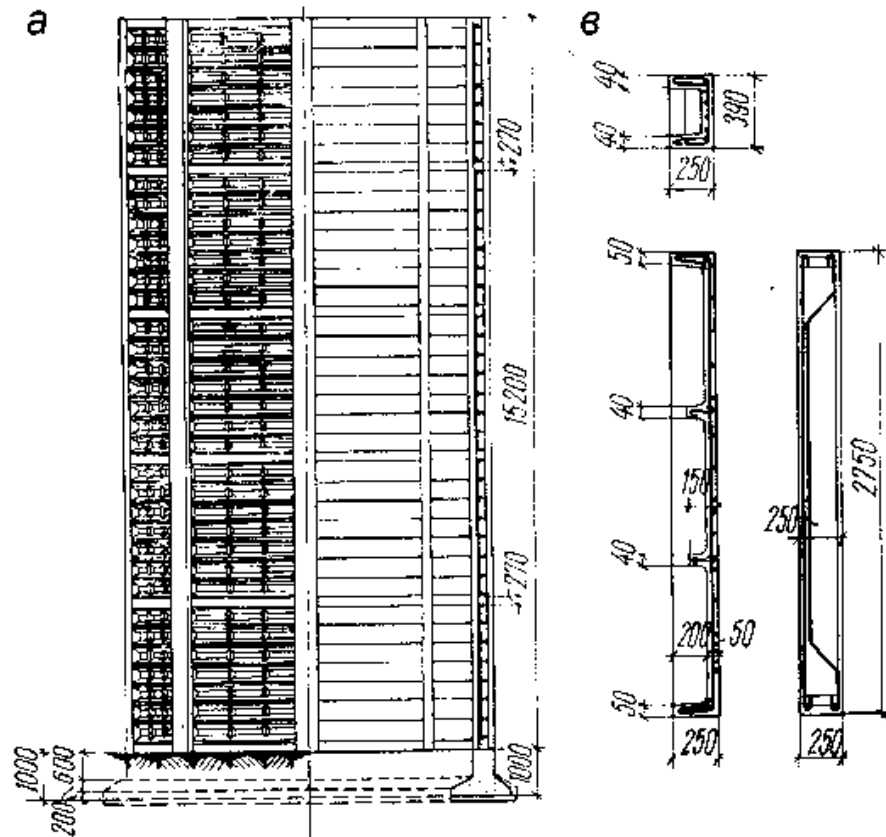


Рис.1.7 Збірний залізобетонний восьмикутний силос: а- фасад і розріз; б- розріз в плані; в- деталь збірного багатокутного каркаса

Плити виготовляються в жорсткій опалубці і в подальшому не вимагають штукатурки. У кожному кутку восьмигранника зводиться залізобетонна колона. Плити встановлюються на розчині одна на іншу відповідно до восьмикутного плану силосу. Товщина шва 1 см. Силос по висоті посилюється монолітними залізобетонними горизонтальними кільцями розміром 25x27 см, що встановлюються на відстані 3 м. Кільця монолітно зв'язуються з вертикальними стійками, споруджуються в кожному кутку восьмикутника. Таким чином, стійки і горизонтальні кільця створюють жорсткий незмінний каркас, який

заповнюється збірними залізобетонними плитами. Силоси мають гладку підлогу з пристроєм вихідного отвору на нульовій позначці.

Силосний склад для зберігання зерна ємністю 26 тис. т (Рис.1.8) складається з шести дванадцятикутних силосів діаметром 17,7 м і розподільної вежі висотою 40 м. Силосні банки і воронки збираються із заздалегідь заготовлених плит. Воронки спираються на прямокутні залізобетонні колони і монтуються з збірних плит з заливкою швів на місці (Рис.1.8, в). Силосні банки складаються з дванадцяти трапецеїдальних секцій (Рис.1.8, б). У центрі силосної банки влаштовано багатокутне відділення діаметром 5,7 м, в якому розташовується підйомник, укладений в спеціальний збірний циліндр, висота циліндра дорівнює висоті силосу[4].

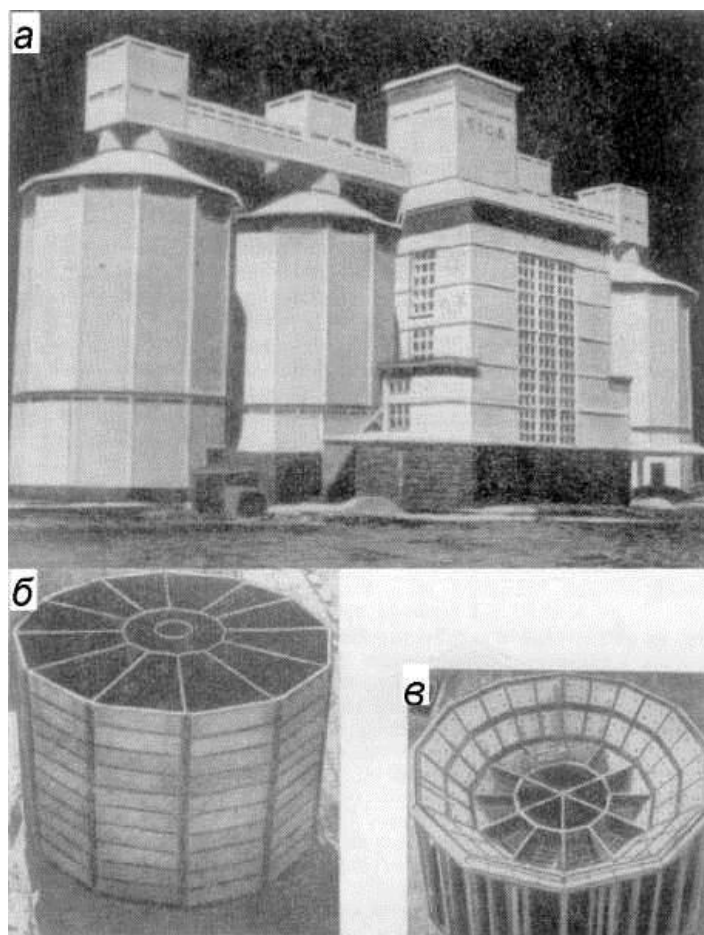


Рис.1.8. Багатокутні силоси для зберігання зерна: а- загальний вигляд; б- силос в процесі складання; в- вивантажувальна воронка в процесі складання

Стінки силосу зібрані з плит висотою 97,5 см і товщиною 8,75 і 15 см. Вертикальні шви між плитами з арматурою, що виступають з кінців плит, заливаються бетоном на місці. Стики посилюються вертикальною арматурою[4].

### 1.3 Основи розрахунку основних конструктивних елементів залізобетонних силосів

У силосах на протилежність бункерам внаслідок тертя матеріалу зберігання до стіни вертикальний  $p_B$  і горизонтальний тиск  $p_\Gamma$  зростає пропорційно до висоти; зі збільшенням глибини приріст тиску зменшується. При тому припускається, що  $p_\Gamma : p_B = const$ .

Тиск у силосі здебільшого визначають за формулами Ясена - Кенена. Щоб одержати розрахункові формули, в силосі на глибині  $y$  виділяють двома горизонтальними площинами елементарний шар заввишки  $dy$ .

На цей шар діятиме:  $\gamma F dy$  – вага шару за площі перерізу силоса  $F$  і питома вага сипкого матеріалу  $\gamma$ ;  $p_B F$  – вертикальний тиск,  $(p_B + dp_B) F$  – вертикальний протитиск;  $p_\Gamma U dy$  – горизонтальна протидія, яку чинять стінки силосів за периметром  $U$ ;  $f p_\Gamma U dy$  – тиск, який сприймається стінками силосу по периметру внаслідок тертя між стінками і сипким матеріалом ( $f$  – коефіцієнт тертя, що дорівнює 0,4 – 0,8 залежно від матеріалу).

Умова рівноваги ( $\Sigma Y = 0$ ) матиме вигляд:

$$\gamma F dy + p_B F - (p_B + dp_B) F - f p_\Gamma U dy = 0, \text{ або } \gamma F dy - dp_B F - f p_\Gamma U dy = 0.$$

$$\text{Звідси } dy = (dp_B F) / \left( \gamma - \frac{f p_\Gamma U}{F} \right) F.$$

$$\text{Увівши позначення } p_\Gamma : p_B = k, \text{ отримаємо } dy = dp_B \left( \gamma - \frac{fk U p_B}{F} \right).$$

Інтегруючи цей вираз і враховуючи, що при  $y = 0, p_B = 0$ , одержимо

$$y = - \frac{F}{fkU} \ln \left( y - \frac{fk U p_B}{F} \right) + C. [4].$$

Постійну інтегрування  $C$  визначають із граничних умов  $0 = -(F / fkU) \ln \gamma + C$ , звідси  $0 = -(F / fkU) \ln \gamma$ .

Тоді 
$$y = (F / fkU) \ln \gamma - \frac{F}{fkU} \ln(fkUp_B) / F$$
 або

$$(fkU / F)y = \ln \gamma - \ln[\gamma - (fkUp_B / F)] = \ln\left[\frac{\gamma}{\gamma - \frac{fkUp_B}{F}}\right] = \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{fkUp_B}{\gamma F}}\right), \text{ звідки } e^{\frac{fkU}{F}y} = 1 / \left(1 - \frac{fkUp_B}{\gamma F}\right).$$

Остаточно вертикальний тиск  $p_B = \gamma F / fkU(1 - e^{-\frac{fkU}{F}y}) = (\gamma p / fk)(1 - e^{-\frac{fk}{p}y})$ , горизонтальний тиск  $p_G = p_B k = (\gamma p / f)(1 - e^{-\frac{fk}{p}y})$ , де  $p = F / U$  – гідравлічний радіус поперечного перерізу силосу;  $\kappa = \text{tg}^2(45^\circ - \varphi / 2)$ ;  $\varphi$  – кут природного відкосу сипкого матеріалу.

Як очевидно з вищенаведених формул,  $p_G$  і  $p_B$  не зростають безмежно із збільшенням глибини засипання  $a$  прямують асимптотично до деякого максимуму: при  $h = \infty$   $p_{G,\text{max}} = \gamma F / fU$ ;  $p_{B,\text{max}} = \gamma F / fUk$ .

Введемо позначення  $(U / F) f k y = \xi$ , одержимо

$$p_G = (\gamma F / fU)(1 - e^{-\xi}) = p_{G,\text{max}}(1 - e^{-\xi}); p_B = (\gamma F / fUk)(1 - e^{-\xi}) = p_{B,\text{max}}(1 - e^{-\xi}).$$

Для круглих силосів за діаметра  $d$ :  $U = \pi d$ ;  $F = \pi d^2 / 4$ ;  $p_G = (\gamma d / 4f)(1 - e^{-\xi})$ ;  
 $p_B = (\gamma d / 4fk)(1 - e^{-\xi})$ .

Для квадратних силосів при стороні  $a$ :  $U = 4a$ ;  $F = a^2$ ;  $p_G = (\gamma a / 4f)(1 - e^{-\xi})$ ;  
 $p_B = (\gamma a / 4fk)(1 - e^{-\xi})$ . За діаметра кола, що дорівнює стороні квадрата, найбільший тиск в обох випадках однаковий.

На основі цього досвіду у зазначених формулах вводиться поправковий коефіцієнт  $a$ ; тоді нормативні тиски

$$p_G^H = a(\gamma p / f)(1 - e^{-\frac{fk}{p}y}); p_B^H = \frac{p_G^H}{k} a(\gamma p / fk)(1 - e^{-\frac{fk}{p}y}).$$

Поправковий коефіцієнт  $a$  приймають: під час розрахунку горизонтальної арматури нижньої зони стін протягом  $2/3$  висоти стін  $a = 2$ ; під час розрахунку верхньої третини висоти стіни  $a = 1$ ; під час розрахунку колон, фундаментів і стін силосів на стиснення  $a = 1$ , а під час розрахунку конструкцій днищ і воронки  $a = 1,5$ [4].



Вертикальний тиск, який передається через тертя на стіни силосів:  $p_f^H = fp_r$ .

Нормативний нормальний тиск засипання на похилу поверхню днища  $p_H^H = p_r^H \sin^2 \alpha + p_B^H \cos^2 \alpha$ , де  $\alpha$  – кут нахилу поверхні днища до горизонту.

Розрахункові навантаження від тиску і ваги сипучих матеріалів визначають множенням нормативних навантажень на коефіцієнт надійності за навантаженням  $\gamma_f = 1,3$ .

Знаючи тиск, розраховують стінки і днище силосу.

Стіни круглих силосів розраховують на горизонтальні розтягувальне зусилля, яке зумовлено тиском засипання; на вертикальне стискальне зусилля від засипання; на розкриття тріщин.

Горизонтальне розтягувальне зусилля на одиницю висоти стіни

$$N = \gamma_f (p_r^H d / 2) = \gamma_f p_r^H \cdot r, \text{ де } \gamma_f \text{ – коефіцієнт надійності за навантаженням.}$$

Це зусилля повністю передають на арматуру, для розрахунку якої силос розбивають по висоті на зони заввишки 2-4 м.

Під час розрахунку за граничними станами, переріз арматури на ділянці заввишки 1 м за глибини у  $A_s = (\gamma_f N_y / mR_s) = (\gamma_f \cdot p_r^H d / 2mR_s)$ .

Коефіцієнт умов роботи конструкцій силосів  $m$  під час розрахунку горизонтальної арматури для нижньої частини стін (на 2/3 її висоти) круглих внутрішніх силосів у корпусах з рядовим розташуванням, а також прямокутних зовнішніх і внутрішніх силосів за розмірів сторін до 4 м приймають  $m = 2$ ; під час розрахунку конструкцій дна плоских днищ без забутки воронки  $m = 1,3$  і для плоских днищ з забутками завтовшки 1,5 м і більше  $m = 2$ . У необумовлених випадках  $m = 1$ .

Розрахункові вертикальні стискальні зусилля від ваги засипання (яке передається через тертя) на одиницю довжини горизонтального периметра

$$N'_y = \gamma_f F[(\gamma - p_B^H) / U] = \gamma_f p (\gamma - p_B^H).$$

У стінах конічної воронки виникають розтягуючі зусилля:  $N_e$  – кільцеве, що діє у горизонтальній площині;  $T$  – меридіональне, що діє вздовж утворюючої[4].

Зусилля  $N_b$  на одиницю довжини меридіонального перерізу конічної воронки визначають із умови рівноваги кільця, виділеного двома горизонтальними площинами:  $N_b = \gamma_f (p_H^H r_1 / \sin \alpha)$ .

Розтягувальне зусилля на одиницю довжини кільцевого перерізу із умови рівноваги  $T = \gamma_f [(\pi r_1^2 p_B^H + G) / (2\pi r_1 \sin \alpha)]$ , де  $\pi r_1^2 p_B^H + G$  – вага стовпа матеріалу вище від перерізу який розглядаємо і вага воронки і сипкого матеріалу у конусі нижче від перерізу, який розглядаємо.

Зусилля  $N_B$  і  $T$  на вершині конуса перетворюються в нуль, а його основи сягають максимуму.

Переріз кільцевої арматури  $A_s = N_b / m R_s$ . Переріз меридіональної арматури  $A_s = T / m R_s$ .

Пірамідальну воронку розраховують аналогічно конічній, але з врахуванням згинальних моментів у стінах:  $N_b = \gamma_f (p_H^H a / 2 \sin \alpha)$ ;  
 $T = \gamma_f (a^2 p_B^H a / 4a \sin \alpha)$ .

Згинальні моменти можна обчислити за формулами: у прольотах  $M = \gamma_f p_H^H a^2 / 24$ ; на опорах  $M = -\gamma_f p_H^H a^2 / 12$ .

Плоске суцільне днище силосу без проміжних опор розраховують як вільно оперту круглу плиту, навантажену рівномірно розподіленим навантаженням  $p_B$ .

Товщину плити днища визначають за найбільшим згинальним Моментом з врахуванням коефіцієнта надійності за навантаженням  $\gamma_f = 1,3$ .

При тому рекомендується, щоб за обраної товщини не вимагалась поперечна арматура.[4].

#### **1.4 Вклад вчених у дослідження залізобетонних силосів**

Виникнення і розвиток будівельних конструкцій, у тому числі залізобетонних, нерозривно пов'язано з умовами матеріального життя суспільства, розвитком продуктивних сил. Поява залізобетону збігається з періодом прискореного розвитку промисловості, транспорту й торгівлі в

другій половині XIX ст. Період виникнення залізобетону (1850-1885 рр.) характеризується появою перших конструкцій з армованого бетону у Франції (Ламбо, 1850 р.; Куаньє, 1854; садівник Моньє, 1867-1880 рр.), Англії (Уїлкінсон, 1854 р.), США (Гіатт, 1855-1877 рр.).

В Україні залізобетонні конструкції починають розвиватися з 1900 р. У 1904 р. в м. Миколаєві в морському порту був побудований унікальний залізобетонний маяк висотою 40,2 м. На початку XX ст. у всьому світі йде бурхливе освоєння нового будівельного матеріалу. Провідну роль в цьому освоєнні відіграють Франція, Німеччина, Росія, Україна.

Перші технічні умови на залізобетонні конструкції були видані в Росії в 1908 р.; а в 1913 р. на об'єктах України і Росії вже було використано 3,5 млн. м<sup>3</sup> бетону й залізобетону.

Основною розрахунковою базою тоді був метод пружних рішень для залізобетонних конструкцій. Однак у 1905 р. професор А.Ф. Лолейт обґрунтував необхідність розрахунку залізобетонних конструкцій за стадією миттєвої рівноваги, тобто за стадією руйнування.

Поряд з провідними науковими центрами СНД, такими як Москва, Київ, Санкт-Петербург, Мінськ м. Харків стає одним з головних міст у розвитку теорії і практики використання залізобетону як нового будівельного матеріалу. У 1928 р. в Харкові споруджується унікальний будинок із залізобетону Держпром, у будинку Головного штабу (1934р.) використовуються перші залізобетонні циліндричні оболонки, працюють спеціальні науково-дослідні інститути і цільові лабораторії.

У 1934 р. в Харкові проходить III конференція із залізобетону, що приймає пропозицію А.Ф. Лолейта про розрахунок залізобетонних конструкцій за руйнівними зусиллями. Праці Я.В. Столярова, В.І. Мурашева, П.Л. Пастернака, В.В. Михайлова, О.Я. Берга, О.О. Гвоздьова, С.В. Александровського, С.Ю. Фрайфельда, І.І. Улицького, В.М. Бондаренка, М.І. Карпенка та багатьох інших відіграли величезну роль у становленні сучасної теорії розрахунку залізобетонних конструкцій.

Слід відзначити дуже продуктивну роботу в сучасному напрямку теорії і практики застосування залізобетонних конструкцій таких вчених, як А.Я. Барашиков, В.М. Бондаренко, О.В. Забегаєв, О.С. Залесов, М.І. Карпенко, Ф.Е. Клименко, О.І. Кричевський, Я.Д. Лівшиць, О.Е. Лопатто, Г.А. Молодченко, Т.М. Пецольд, Л.М. Фомиця, С.Л. Фомін, Е.Д. Чихладзе, О.Л. Шагін, В.С. Шмуклер і багато видатних діячів науки і техніки України, Білорусі та інших держав світу.

І в даний час процес удосконалення теорії розрахунку і практики застосування залізобетонних конструкцій не припиняється. Практично через кожні 10-12 років змінюються норми на проектування залізобетонних конструкцій. На сьогодні основним нормативним документом є норми [1,2,5].

Будівлі і споруди, що будуються в сейсмічних районах, повинні проектуватись у суворій відповідності до вимог надійності, стійкості та економічності. Це означає, що сейсмостійкість таких споруджень повинна забезпечуватися якомога ефективнішим використанням грошових коштів та наявних ресурсів.

На сьогоднішній день питання вдосконалення методів розрахунку на сейсмічні дії з використанням наявних аналітичних засобів та традиційних конструктивних рішень сейсмостійкості будівель і споруд, визначення параметрів сейсмічних впливів і величин розрахункових сейсмічних навантажень відображено в роботах [11 – 14].

### **1.5 Використання засобів скінчено-елементного аналізу для оцінювання напружено-деформівного стану залізобетонного силосу при дії сейсмічних навантажень**

Використання систем скінченно-елементного аналізу дають можливість з меншими затратами часу, з більшою точністю та наочністю отримати

результати впливу різноманітних чинників на будівельну конструкцію. Також, системи розрахунку базовані на використанні методу скінченних елементів (МСЕ) дають доволі швидкі відклики при зміні одного або декількох параметрів розрахунку моделі будівельної конструкції.

Незалежно від розрахункового пакету, що використовує МСЕ, поставлене завдання виконується по наступних основних етапах:

- 1) побудова геометричної моделі;
- 2) встановлення виду та величини навантажень, формування фізико-механічних характеристик матеріалу розрахункової моделі, визначення граничних умов.
- 3) отримання рішення
- 4) аналіз результатів.

Пункти 1 і 2 в деяких прикладних розрахункових пакетах можуть бути суміщеними.

Скінченно-елементна модель залізобетонного силосу для розрахунку НДС наведено на рис. 1.12.

На рис. 1.13 подано модель залізобетонного силосу, як розбита на скінченні елементи, таким чином утворивши скінченно-елементу сітку.

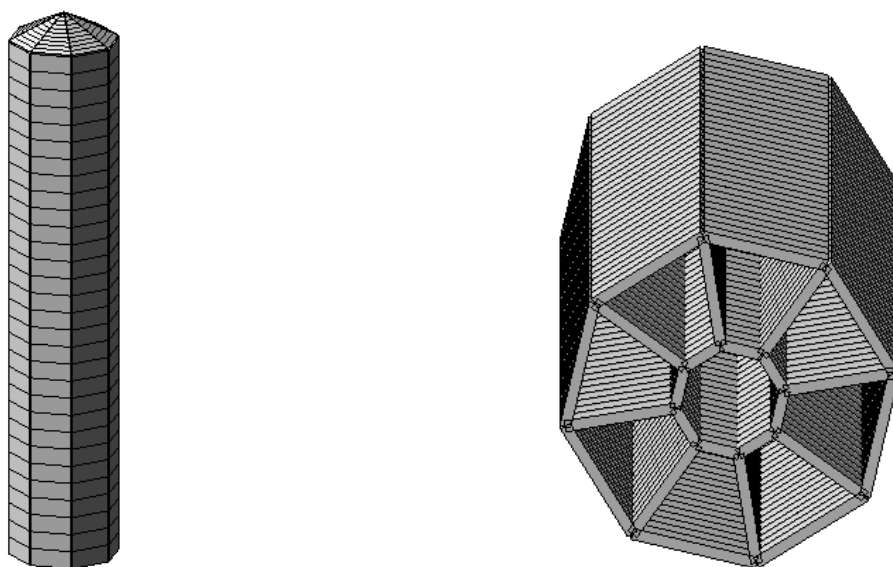


Рисунок 1.12 – Модель залізобетонного силосу

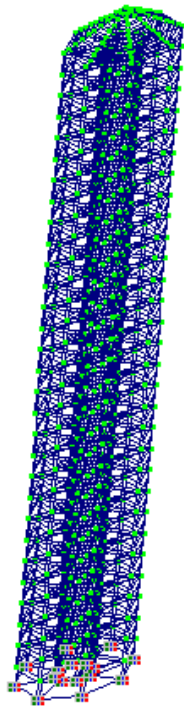


Рисунок 1.13 – Залізобетонний силос розбитий на скінченні елементи

Приклад робочого вікна ПК «ЛІРА» наведено на рис. 1.14 .

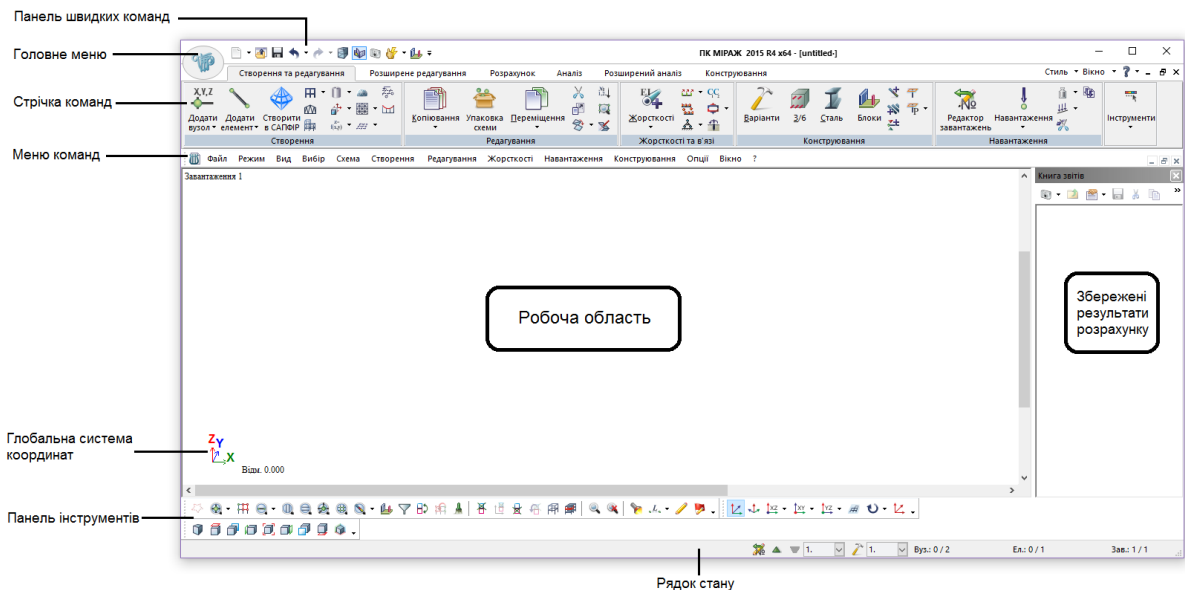


Рисунок 1.14. Приклад робочого середовища ПК «ЛІРА»

Таким чином, на основі розрахунку та після аналізу НДС моделі конструкції можна сформулювати чіткий висновок про можливість подальшого безпечного використання залізобетонного силосу відповідно до експлуатаційних вимог.

На противагу від аналітичному методу, МСЕ дає чітку можливість візуалізувати результати розрахунку. Також, МСЕ дозволяє провести розрахунок параметрів НДС із значною кількістю факторів впливу, при цьому зберігаючи можливість одночасно локалізовано звернути увагу на критичні місця конструкції.

## **1.6 Постановка задачі дослідження**

В результаті аналізу конструктивних особливостей залізобетонних силосів та результатів досліджень дії на них сейсмічних навантажень, виявлено:

1. Вплив значної кількості факторів на показники НДС залізобетонних силосів при дії сейсмічних навантажень, що ускладнюють процес аналітичного розрахунку несучої здатності таких конструкцій та спричиняє значну трудомісткість обчислень.

2. Сучасний етап розвитку та застосування прикладних програмних пакетів та техніки дають широкі можливості для всеосяжного дослідження параметрів НДС залізобетонних силосів за умови впливу на них сейсмічних навантажень, що значно пришвидшує етап розрахунку та проектування.

Аналіз конструктивних форм та способів розрахунку, що впливають та визначають НДС залізобетонних силосів при дії сейсмічних навантажень, показує, що результатами раніше проведених експериментальних і теоретичних досліджень є:

1. Існуючі емпіричні залежності є достатньою мірою трудомісткими та вимагають значних професійних здібностей інженерів та часових затрат, що значно подовжує етапи розрахунку та проектування

2. Використання сучасних чисельних методів розрахунку залізобетонних силосів при дії сейсмічних навантажень значно пришвидшують міцнісні розрахунки, а за умови дії значної кількості факторів впливу підвищують точність обчислень.

## **1.7 Висновки до розділу 1**

1. З'ясовано особливості роботи та розрахунку залізобетонних силосів при дії сейсмічних навантажень.

2. Виявлено, що розрахунки залізобетонних силосів при дії сейсмічних навантажень за допомогою аналітичних методів є трудомісткими та вимагають високої кваліфікації інженерного складу, що негативно відображається на термінах та вартості розрахунково-проектних операцій.

3. Використання МСЕ в розрахунках залізобетонних силосів при дії сейсмічних навантажень дозволить ефективно проводити міцнісні розрахунки, а при наявності дії на споруду багатьох чинників- значно підвищити точність.



## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНОГО СТАНУ СИЛОСУ ПРИ ДІЇ СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

#### 2.1 Вимоги ДБН до залізобетонних конструкцій та технологій виготовлення

Положення ДБН В.2.6-98:2009 «Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування» та «ДСТУ Б В.2.6-134:2010» передбачають, що при проектуванні залізобетонних силосів повинні бути забезпечені експлуатаційна придатність і безпека протягом строку експлуатації, визначеного у завданні на проектування. Окрім цього, проектування виконують з урахуванням вимог охорони навколишнього середовища, а також інших особливих умов, наведених у завданні на проектування.

Для цього необхідно:

- забезпечувати надійність силосів за рахунок виконання вимог до вибору матеріалів, конструювання та розрахунків;
- приймати конструктивні рішення, що забезпечують міцність, жорсткість, стійкість і просторову незмінюваність будівель і споруд у цілому та їх окремих елементів під час транспортування, монтажу та експлуатації, при цьому передбачаючи в'язі залежно від основних параметрів будівлі та режиму її експлуатації (конструктивної схеми, прольотів, типів кранів та режимів їх роботи, температурних впливів тощо);
- передбачувати заходи щодо забезпечення довговічності конструкцій та захисту їх від корозії, впливу вогню і тепла, зносу та стирання;
- враховувати вимоги ДБН В. 1.1 -7, ДБН В. 1.2-14 та інших відповідних нормативних документів стосовно забезпечення міцності та стійкості несучих конструкцій в умовах пожежі;
- передбачувати технологічність виготовлення та монтажу конструкцій;

- забезпечувати складальність конструкцій розрахунком точності геометричних параметрів згідно з ДСТУ-Н Б.В. 1.3 зі встановленням необхідності контрольного чи загального складання або використанням регульовальних пристроїв;

- враховувати відхилення від проектних розмірів і геометричної форми елементів конструкцій, які допускаються під час виготовлення та зведення;

- встановлювати методи та обсяги контролю під час виготовлення та зведення конструкцій, а також у процесі їх експлуатації, включаючи, за необхідності, виконання випробувань окремих елементів, вузлів, з'єднань і конструкцій у цілому, а також, за необхідності, встановлення контрольно-сигнальних систем чи інших засобів моніторингу;

- передбачати можливість огляду, обстеження і діагностики, а також проведення профілактичних і ремонтних робіт. За необхідності передбачати для цього ходові сходи та площадки, спеціальні пристосування (столики, провущини, фіксатори тощо) для забезпечення можливості кріплення постійних і тимчасових пристосувань.

У робочих кресленнях конструкцій і в документації на замовлення матеріалів слід наводити відомості про [28...30]:

- категорію конструкції та її елементів за призначенням та напруженим станом;

- арматуру та бетони і додаткові вимоги до них, передбачені нормативними документами.

У проекті слід вказувати послідовність ведення робіт, а також допустимі монтажні навантаження, якщо зазначені чинники враховувались під час визначення розрахункових зусиль.

## 2.2 Вибір програмного комплексу для розрахунку параметрів НДС

Сучасна наука та інженерна практика широко представлена значною кількістю розрахункових програмних комплексів, кожний з яких має свої певні переваги та недоліки.

Напружено-деформівний стан залізобетонних конструкцій та силосів зокрема при дії сейсміки, можна обчислити за допомогою як зарубіжних програмних комплексів ПК «ANSYS», ABAQUS, NASTRAN , ПК SCAD так і вітчизняних, зокрема ПК «Ліра».

Безумовними лідерами в сфері визначення параметрів НДС є ПК ANSYS, NASTRAN та ABAQUS. Ці потужні розрахункові комплекси дозволяють всебічно провести аналіз НДС різного роду конструкцій при комплексній дії багатьох експлуатаційних факторів, що безумовно позитивно впливає на точність отриманих результатів. Однак, такі програмні пакети вимагають глибокого розуміння параметрів експлуатаційних факторів та доволі точного створення дослідної моделі конструкції і наявності потужних обчислювальних машин для безпосереднього розрахунку.

Водночас, вітчизняний розрахунковий комплекс «Ліра» зорієнтований тільки на будівельні конструкції, що пришвидшує етап створення розрахункової моделі та задання параметрів розрахунку. При цьому, не погіршується точність та наочність отриманих результатів.

У кваліфікаційній роботі проектний розрахунок поведінки фізичної моделі залізобетонного силосу та визначення НДС в під дією сейсмічних навантажень виконано з використанням вітчизняного прикладного програмного пакету «ЛІРА», тому що цей програмний комплекс має ряд ключових переваг:

- побудова моделі конструкції або імпорт їх з CAD систем ( а саме із AutoCAD, Inventor та ін.);
- вивчення реакції конструкції на різні фізичні впливи, такі, як вплив різних навантажень;

- оптимізація геометрії конструкції;
- інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та наявність української мови;
- хороша візуалізація результатів розрахунку, що пришвидшує аналіз конструктивних рішень;
- висока продуктивність.

Програмне забезпечення «ЛІРА» включає широкі можливості, що дозволяють мінімізувати час на створення розрахункової моделі та на аналіз результатів розрахунку. ПК «ЛІРА» відноситься до одних із лідерів в Україні у сфері САЕ-продуктів скінченно-елементного аналізу та проектування і має достатній досвід у розв'язанні прикладних задач числовими методами.

Прототип ПК «ЛІРА» був розроблений у далекому 1960 р під керівництвом д. т. н. професор А. С. Городецького. На відміну від існуючих тоді програм, в яких реалізовувався тільки метод сил, у програмі був використаний метод переміщень і автоматизована процедура статичного розрахунку: завдання та діагностика вихідних даних, складання рівнянь, розв'язання рівнянь, обчислення зусиль і напружень в стрижневих і пластинчастих елементах. У 1975 році для ЄС ЕОМ був розроблений програмний комплекс ПК Ліра-ЄС на мовах ПЛ-1 і Асемблер в операційному середовищі ОС.

У 1991 році був розроблений програмний комплекс Міраж, який являв собою реалізацію алгоритмів Ліра-ЄС на персональних комп'ютерах в операційному середовищі DOS.

Починаючи з 2003 року, сімейства розробка програм Ліра виконується фірмою «Ліра-софт». Розроблено програмні комплекси Ліра 9,0, 9,2, 9,4 і 9,6. Крім загального розрахунку моделі об'єкта на всі можливі види статичних навантажень (силових, температурних, деформаційних) і динамічних дій (вітер з урахуванням пульсації, сейсмічні впливи, гармонійні коливання і т.п.) ПК ЛІРА автоматизує ряд процесів проектування: визначення розрахункових сполучень навантажень і зусиль, призначення конструктивних елементів, підбір

і перевірка перерізів сталевих та залізобетонних конструкцій з формуванням ескізів робочих креслень колон і балок.

ПК ЛІРА дозволяє досліджувати загальну стійкість моделі, перевірити міцність перерізів елементів з різних теорій руйнування. ПК ЛІРА-САПР надає можливість проводити розрахунки об'єктів з урахуванням фізичної, геометричної, фізико-геометричної і конструктивної нелінійностей, моделювати процес зведення споруди з урахуванням монтажу-демонтажу елементів з відстеженням змін фізичних властивостей матеріалів.

ПК ЛІРА-САПР складається з декількох взаємозв'язаних інформаційних систем :

1) ВІЗОР-САПР – система, яка організовує єдине графічне середовище користувача з багаточисельними можливостями синтезу і аналізу вирішуваного завдання;

2) ПРОЦЕСОР – складається з набору спеціалізованих підпроцесорів, що вирішують завдання в лінійній і нелінійній постановці, проводять розрахунок на стійкість і динамічні дії, реалізують супер-елементний підхід та дозволяють змоделювати процес зведення конструкції;

3) ЛАРМ-САПР – система проектування залізобетонних елементів;

4) СТК-САПР – система проектування сталевих елементів;

5) КС-САПР – конструктор перерізів;

6) РС-САПР – редактор бази даних прокатних сортаментів;

7) КМ-САПР – інтегрована в середовище AutoCAD система, що дозволяє на основі результатів розрахунку провести виконання робочих креслень;

8) ДОКУМЕНТАТОР – система підготовки конструкторської документації.

Графічне середовище надає користувачеві можливість швидко і наочно створювати розрахункові схеми із знайомих базових об'єктів – стержнів, ферм, рам, пластин, оболонок, об'ємних тіл. Отримана конструкція відображується на екрані у вигляді реального просторового зображення. Його можна повертати, масштабувати, виділяти фрагменти, копіювати або переносити їх, збирати з

окремих фрагментів складні розрахункові схеми. При цьому користувач працює з графічними образами об'єктів, природним для себе чином створюючи або редагуючи споруду або конструкцію.

Розрахунковий процесор реалізує сучасні методи складання та вирішення систем рівнянь МСЕ, що володіють високою швидкістю і дозволяють вирішувати системи з дуже великим числом невідомих. При цьому можливі задання лінійних і нелінійних законів деформації матеріалів, врахування геометричної нелінійності. Реалізовані закони деформації різних класів залізобетону. При розрахунках нелінійних завдань проводиться автоматичний вибір кроку навантаження з врахуванням його історії. Можливості процесора дозволяють змоделювати поведінку споруди в процесі зведення при багатократній зміні розрахункової схеми.

Система конструювання залізобетонних елементів ЛАРМ-САПР може функціонувати після закінчення роботи процесора, коли сформовані файли переміщень та зусиль. Вона реалізує підбір площ перерізу арматури колон, балок, плит і оболонок по першому і другому граничних станах відповідно до нормативних документів, що діють в країнах СНД, ЄС, США та Канаді. Існує можливість задання довільних характеристик бетону і арматури, що має велике значення при розрахунках, пов'язаних з реконструкцією споруд. Система може здійснювати як підбір арматури, так і перевірку заданого армування для елементів. За результатами розрахунку формуються креслення балок і колон.

Система конструювання сталевих елементів СТК-САПР може функціонувати після закінчення роботи процесора, коли сформовані файли переміщень і зусиль. Система призначена для підбору і перевірки сталевих перерізів фермових елементів, балок і колон із стандартних профілів (кутники, двотаври, швелери), зварних і складених перерізів відповідно до діючих нормативних документів.

Система КС-САПР дозволяє в спеціалізованому графічному середовищі сформувати перерізи довільної конфігурації, обчислити їх осьові характеристики на згин, кручення і зріз. Крім того, є можливість обчислення

секторіальних характеристик перерізів, координат центрів згину і кручення, моментів опору, а також визначення форми ядра перерізу. За наявності зусиль в заданому перерізі проводиться відображення картини розподілу поточного, головного і еквівалентного напруження, що відповідає різним теоріям міцності.

Система РС-САПР, яка інформаційно пов'язана з ВІЗОР-САПР та СТК-САПР, дозволяє проводити редагування бази даних сортаменту прокатних і зварних профілів.

Система ДОКУМЕНТАТОР призначена для формування звітів за результатами роботи з комплексом. Основні можливості системи документування наступні:

- надання стандартних вихідних форм з можливістю їх гнучкого налаштування по складу елементів даних і форми видачі;
- вбудовані механізми генерації користувачем нових вихідних форм;
- видача графічної інформації в різних векторних і растрових форматах для виводу на друк чи експорту в спеціалізовані програми;
- видача табличної інформації у форматі електронних таблиць з можливістю їх подальшої обробки, виводу і зберігання;
- автоматичне оновлення підготовлених документів при зміні схеми.

Структура вікон ПК ЛІРА-САПР( Рис.2.6.) стандартна для програм ОС Windows і включає в себе:

- заголовок вікна, в якому виводиться назва програми та ім'я поточного проекту, міститься панель виклику швидких команд;
- рядок випадаючих меню, в яких згруповані всі доступні команди;
- стрічка команд, що об'єднує всі інструменти та елементи керування, розділені на вкладки;
- панель інструментів, що містить кнопки для виклику найчастіше використовуваних команд;
- робочу область, в якій у графічній формі відображається побудована розрахункова схема та виводяться результати розрахунку;

- інформаційний рядок, в якому виводиться коротка інформація про призначення вибраної команди, а також повідомлення і підказки системи. У правій частині інформаційного рядка розміщені три цифрові поля, в яких виводиться інформація про кількість вузлів і елементів моделі, номер активного завантаження і кількість всіх завантажень, передбачених користувачем.

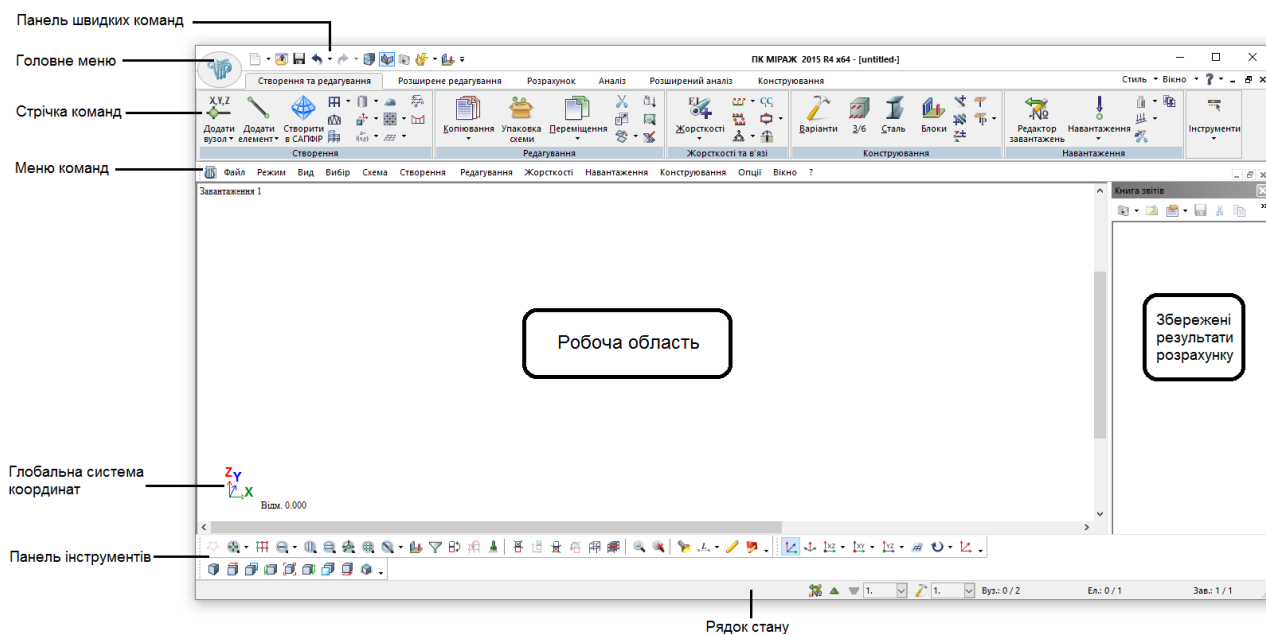


Рисунок 2.6 – Інтерфейс ПК ЛІРА

### 2.3 Методика моделювання та чисельного розрахунку залізобетонного силосу при дії сейсмічних навантажень

Розрахунок параметрів НДС залізобетонного силосу при дії сейсмічних навантажень виконано з використанням ПК «ЛІРА», прикладного пакету, який реалізується шляхом застосування методу скінченних елементів. Метою скінченно-елементного аналізу є віднайти відгук системи, що розраховується на заданий зовнішній вплив.

Геометричні параметри та фізико-механічні властивості матеріалу залізобетонного силосу приймемо наступними:

- форма силосу –восьмикутна;
- висота 30 м, діаметр -6 м, товщина стінки – 0,2 м;
- клас бетону С20/25, арматура А500С;



- сейсмічність будівельного майданчику 7 балів.

При розрахунку використовується спрощена модель матеріалу – залізобетону, що характеризується середньозваженими значеннями модуля пружності, коефіцієнта Пуассона та густини [28].

Для вирішення поставленої мети використовується математична модель конструкції залізобетонного силосу:

- геометрична модель CAD разом із заданим навантаженням являє собою формалізовану фізичну модель (рис. 2.5, б);
- скінченно-елементна сітка є математичним поданням геометричної моделі CAD; це розрахункова модель (рис. 2.5, а);
- точність розрахунків визначається припущеннями фізичної моделі та геометричними розмірами і щільністю сітки.

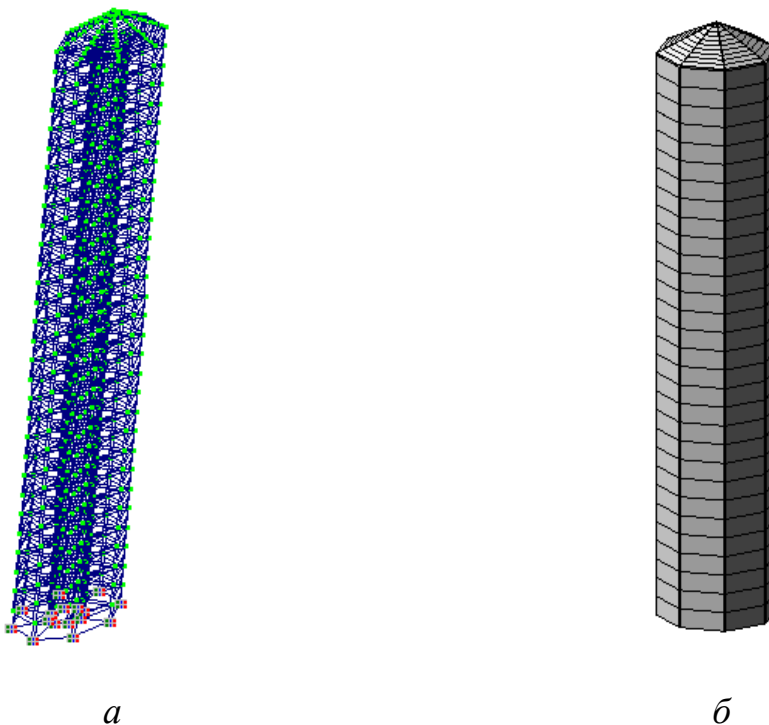


Рисунок 2.5 – Залізобетонний силос:

*а* – САЕ – скінченно-елементна модель;

*б* – CAD – геометрична модель.

Отримання розв'язку задачі включає проходження наступних етапів:

1. Основні припущення:
    - вибір кількості степенів свободи в системі( шість степенів);
    - вибір типу елементів.
  2. Імітація роботи розрахункової конструкції :
    - побудова геометричної моделі. Також вона може бути експортована з будь-якої CAD-системи;
    - вибір матеріалу об'єкта і зазначення всіх його необхідних властивостей;
    - генерація сітки;
    - навантаження і закріплення конструкції;
    - вибір розрахункових параметрів;
  3. Розрахунок.
  4. Аналіз:
    - перегляд результатів обчислень. Результатом є формування кінцевого файлу результатів;
    - перевірка вірогідності прийнятого конструктивного рішення.
- Необхідні фізичні величини представлені у робочому вікні у вигляді графічних зображень, таблиць, графіків, анімацій.

Розв'язання задачі при напружено-деформованих станах включає наступні основні кроки конструкційного аналізу:

- 1) транслювання геометричної моделі з CAD системи;
- 2) задання властивостей матеріалів;
- 3) накладання в'язей на модель;
- 4) генерація SE сітки;
- 5) прикладання навантажень;
- 6) задання списку розрахункових результатів і безпосередньо сам розрахунок;
- 7) візуалізація результатів розрахунків;

У ПК «ЛІРА» на самому початку розв'язку задачі вибирається степінь вільності системи, після чого програма вставляє в схему проекту відповідний блок, який містить всі необхідні етапи виконання аналізу.

Після створення нової задачі графічне середовище ПК ЛІРА-САІР працює в режимі формування розрахункової схеми. Цей режим надає користувачеві широкий набір інструментальних засобів, операцій і функцій для опису скінченно-елементних моделей конструкцій і споруд широкого класу. Важливе місце відведене створенню стандартних плоских і просторових фрагментів (рам, ферм, оболонок тощо). Отримані таким чином базові елементи можуть надалі копіюватися, переміщатися, зшиватися один з одним, утворюючи у результаті складні просторові розрахункові схеми. Окремий блок функцій реалізує операції задання жорсткостей і їх присвоєння елементам розрахункової схеми. Після формування геометричної схеми конструкції наступним етапом є задання зовнішніх навантажень. У задачі може бути кілька завантажень, після проведення розрахунку можна переглядати результати окремо по кожному з них. Важливим елементом розрахунку, необхідним при використанні результатів для конструювання є автоматизований вибір розрахункових поєднань зусиль при спільній дії декількох завантажень. Потрібні для цього дані задаються для кожного завантаження в спеціальній таблиці розрахункових сполучень зусиль (РСЗ).

В разі успішного розв'язку задачі на диску створюються набори робочих файлів з результатами і стає доступним режим візуалізації результатів розрахунку. При аналізі напруженого стану для стержневих елементів розрахункової схеми можуть бути побудовані епюри будь-якого з переміщень і зусиль, що виникають в поточному завантаженні. Для пластин, оболонок і тривимірних тіл результати представляються у вигляді ізополів напружень, де кожен колір відповідає певному діапазону значень.

## **2.4 Висновки до розділу 2**

1. Проведено аналіз методичних аспектів дослідження НДС в залізобетонному силосі при дії сейсміки з використанням сучасних обчислювальних засобів і програмних комплексів.

2. Визначено геометричні параметри та фізико-механічні характеристики матеріалу залізобетонного силосу для дослідження при дії сейсмічних навантажень.

3. Запропоновано методику експерименту з використанням ПК «ЛІРА» базованого на основі методу скінчених елементів для визначення параметрів НДС залізобетонного силосу при дії сейсміки.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗПОДІЛ НАПРУЖЕНЬ В ЗАЛІЗОБЕТОННОМУ СИЛОСІ ПРИ ДІЇ СЕЙСМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

#### 3.1 НДС в елементах залізобетонного силосу при сейсмічних навантаженнях

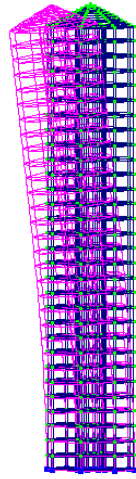
В програмному пакеті «ЛІРА» виконано моделювання та розрахунок залізобетонного силосу, який передбачає визначення параметрів напружено-деформівного стану моделі при дії сейсмічних навантажень. Геометричні параметри силосу наведено в розділі 2.3 цієї роботи.

В результаті обчислень, визначено частоти і періоди коливань, а також модальні маси при землетрусі силою 7 балів за шкалою Ріхтера (Таб.1).

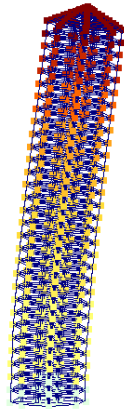
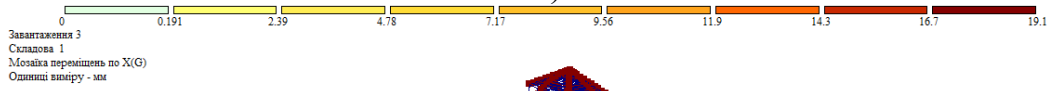
Таблиця 1 – Частоти і періоди коливань залізобетонного силосу

№ завант	№ форми	Власні значення	Частоти		Період (с)	Коеф. розподіл.	Мод. маса (%)	Сума мод.мас (%)
			Круг. частота (рад/с)	Частота (Гц)				
2	1	0.052	19.1	3.04	0.329	6.760	31.408	31.408
2	2	0.010	98.8	15.7	0.064	3.926	10.593	42.001
2	3	0.006	163.2	25.9	0.038	- 7.731	41.080	83.081
2	4	0.004	229.07	36.4	0.027	2.261	3.515	86.595
2	5	0.003	372.1	59.2	0.017	- 1.557	1.666	88.261
3	1	0.052	19.1	3.04	0.329	6.760	62.816	62.816
3	2	0.010	98.8	15.7	0.064	3.925	21.184	84.001
3	3	0.006	163.2	25.9	0.038	0.000	0.000	84.001
3	4	0.004	229.07	36.4	0.027	2.261	7.028	91.028
3	5	0.003	372.1	59.2	0.017	- 1.560	3.344	94.372

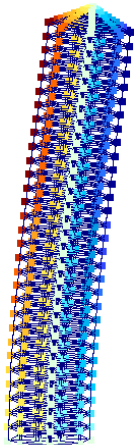
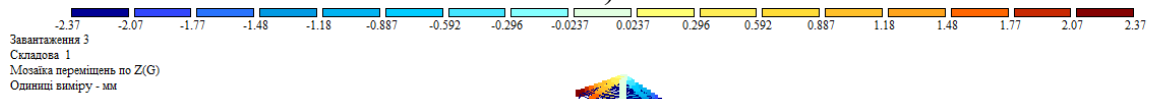
Також отримано значення переміщень та величини внутрішніх зусиль для всіх п'яти форм коливань залізобетонного силосу. Для наглядності продемонструємо значення переміщень (рис. 3.1-3.3) та величини внутрішніх зусиль для перших трьох форм коливань (рис. 3.4-3.7)



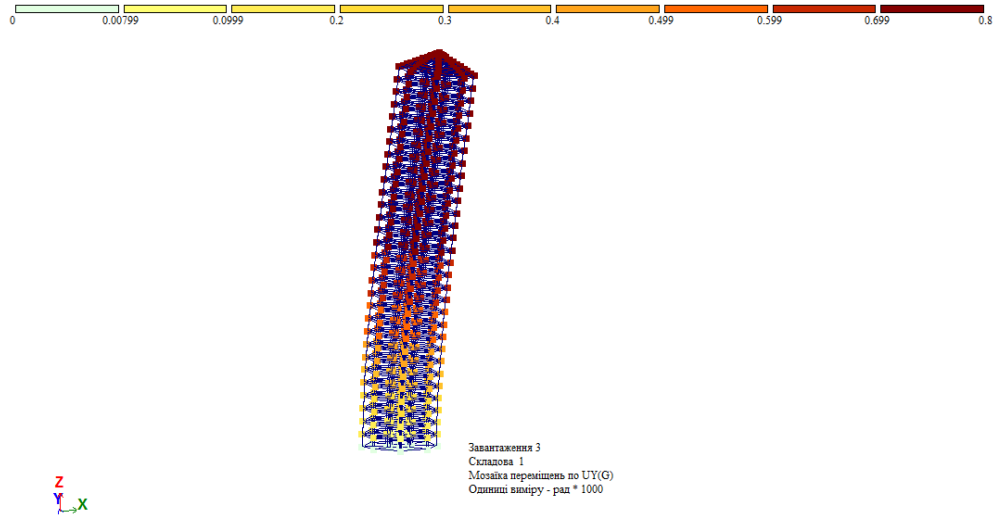
a)



б)



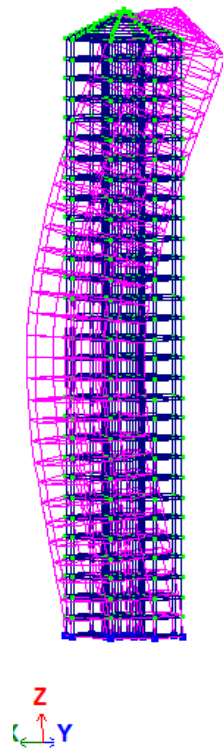
в)



Г)

Рисунок 3.1 – Характер(а) та величини деформації для першої форми коливань по осях ох(б) та оз(в) уу(г)

Завантаження 3  
Форма коливань у гл. с. 2



а)

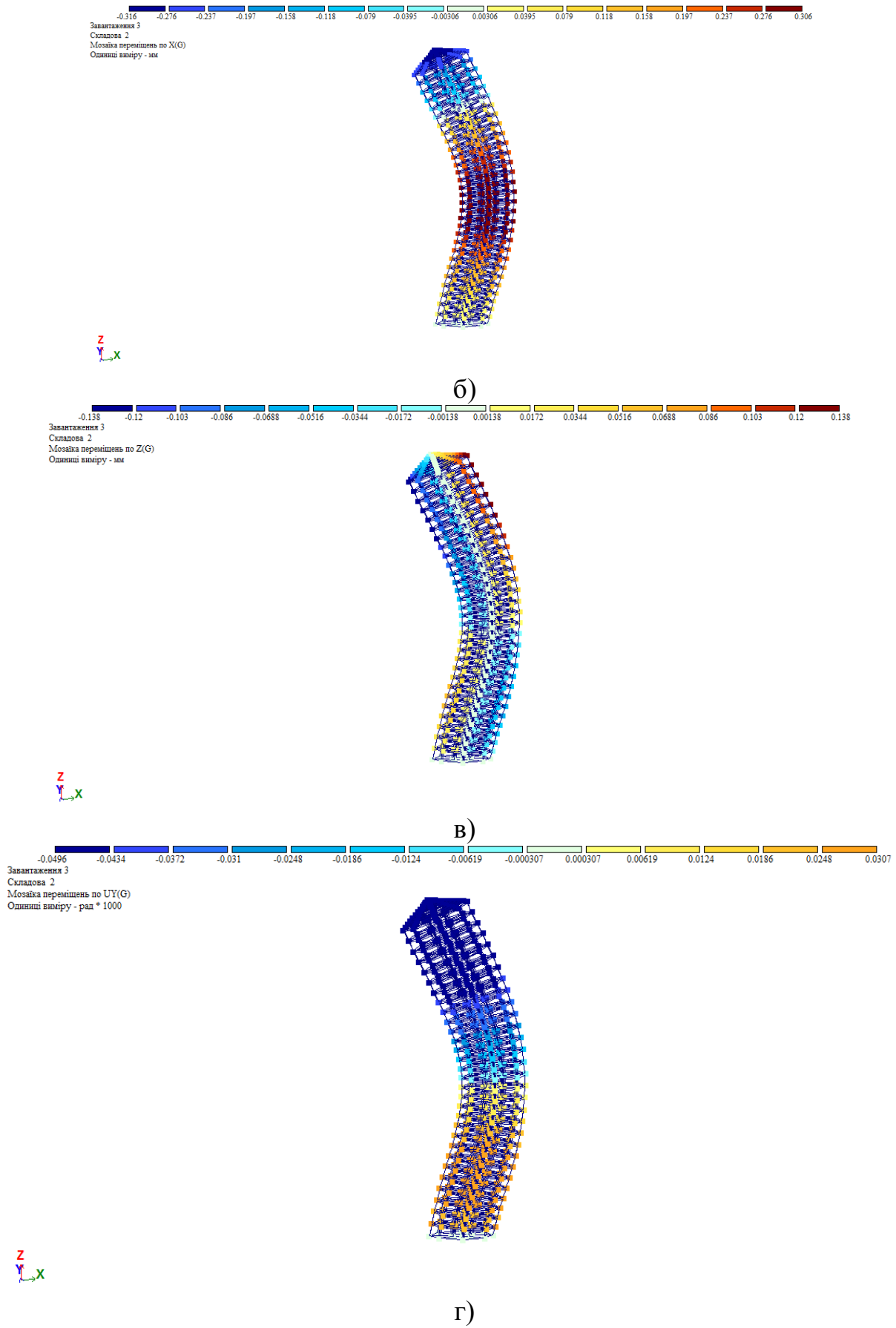
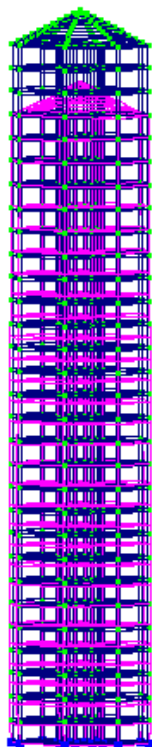


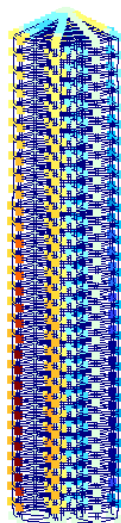
Рисунок 3.2 – Характер(а) та величини деформації для другої форми коливань по ох(б) та оз(в) уу(г)



Завантаження 3  
Форма коливань у гл. с. 3



a)



б)

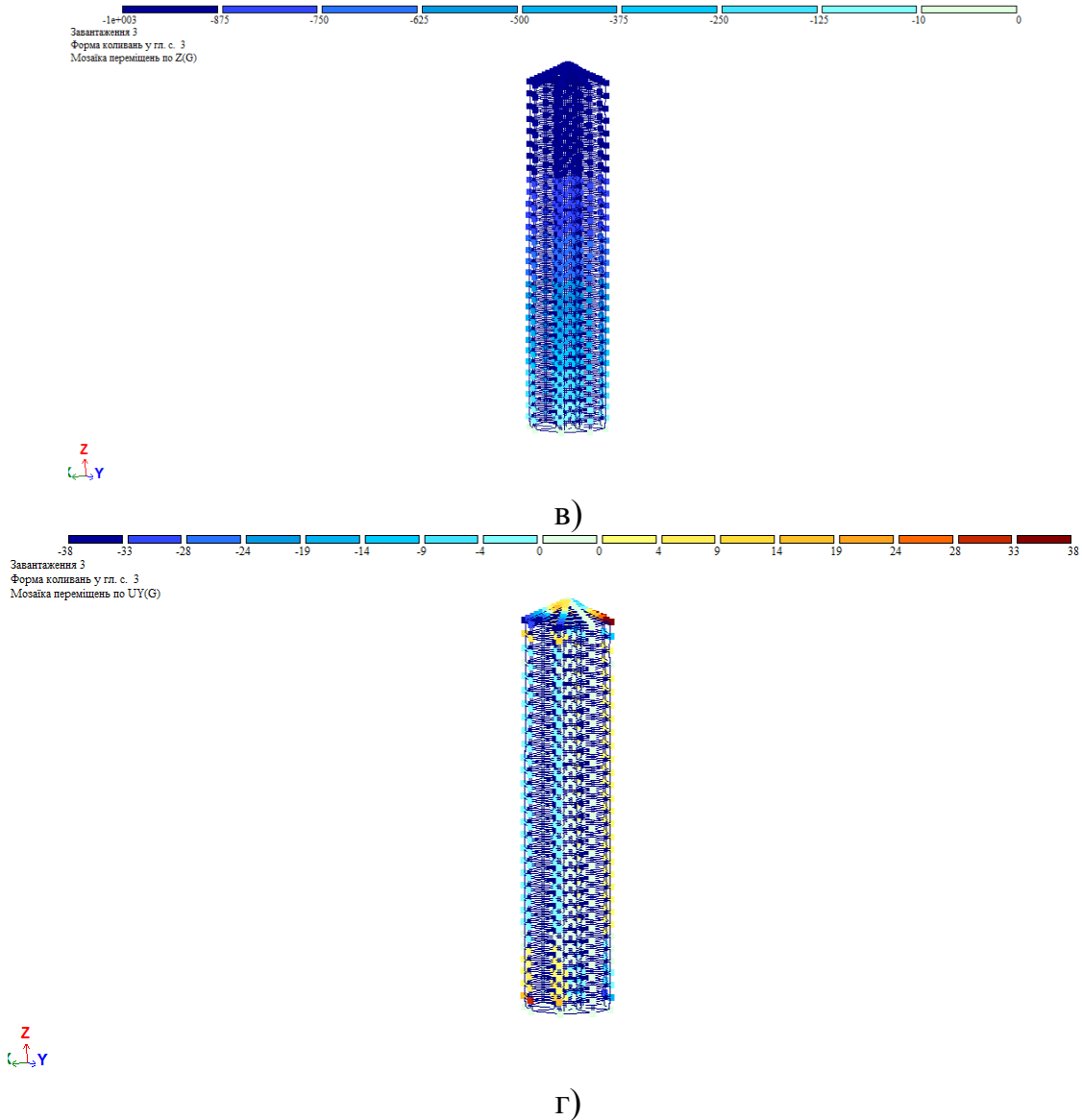
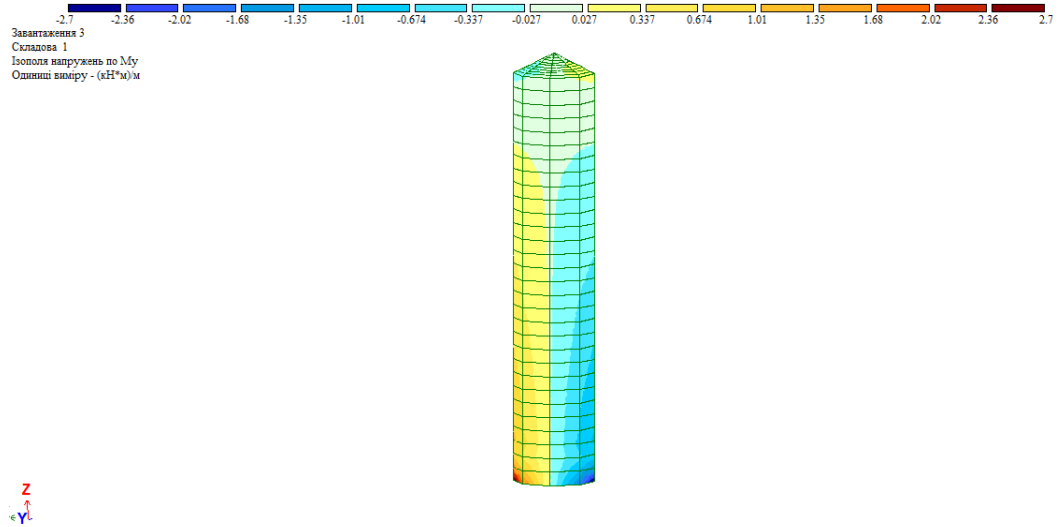


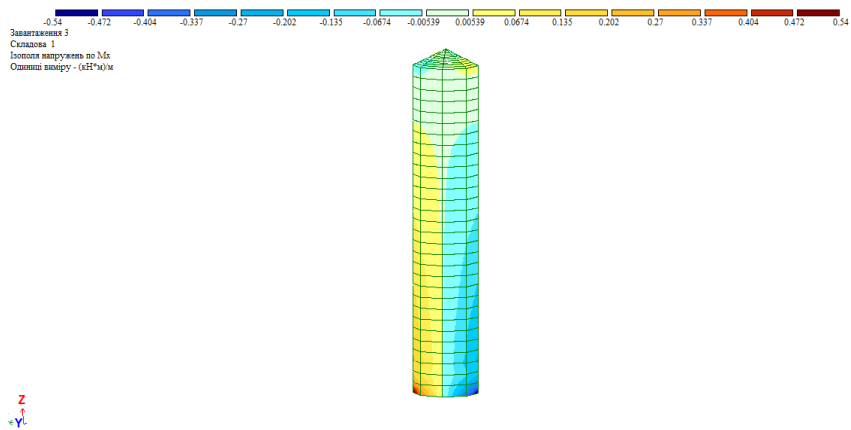
Рисунок 3.3 – Характер(а) та величини деформації для третьої форми коливань по осях ох(б) та оз(в) uy(г)

За вищенаведеними розподілами очевидним є те, що деформації конструкції залізобетонного силосу при першій та другій формі коливань мають переважаючий горизонтальний характер, а для третьої форми коливань характерні вертикальні переміщення. Вцілому, деформативність залізобетонного силосу відповідає роботі консольного стержня.

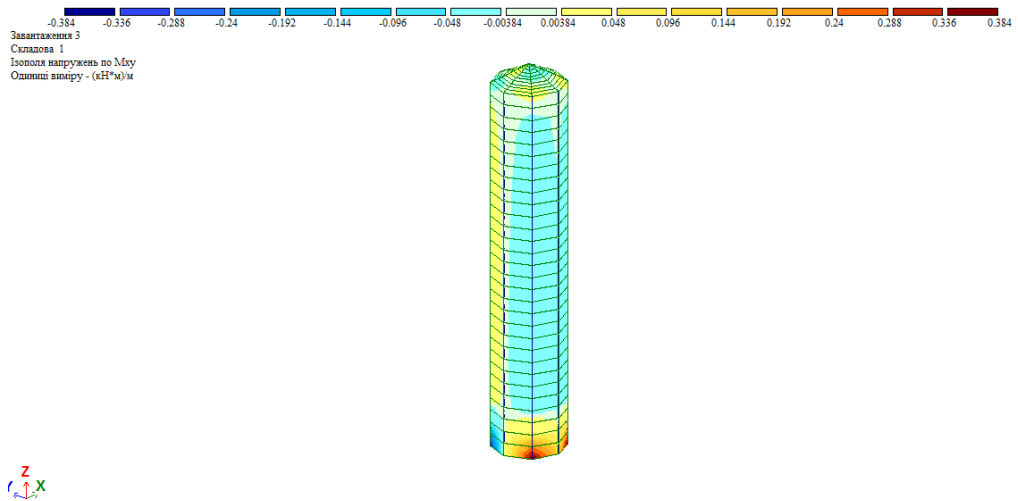
Фактичні значення внутрішніх зусиль в залізобетонному силосі при перших та другій формі коливань наведено на рис. 3.4-3.6.



а)

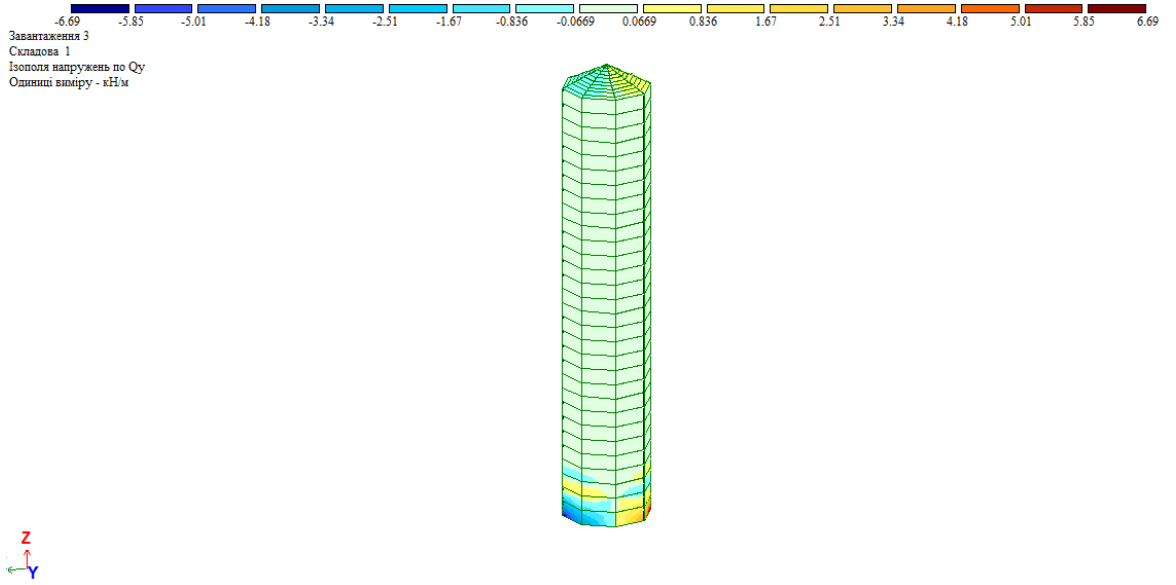


б)

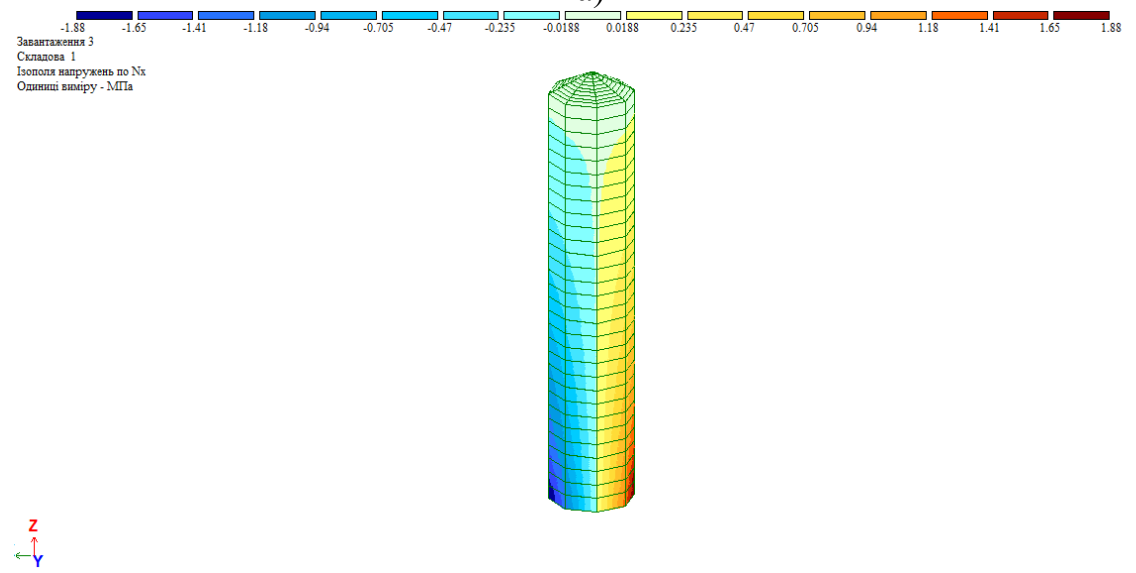


в)

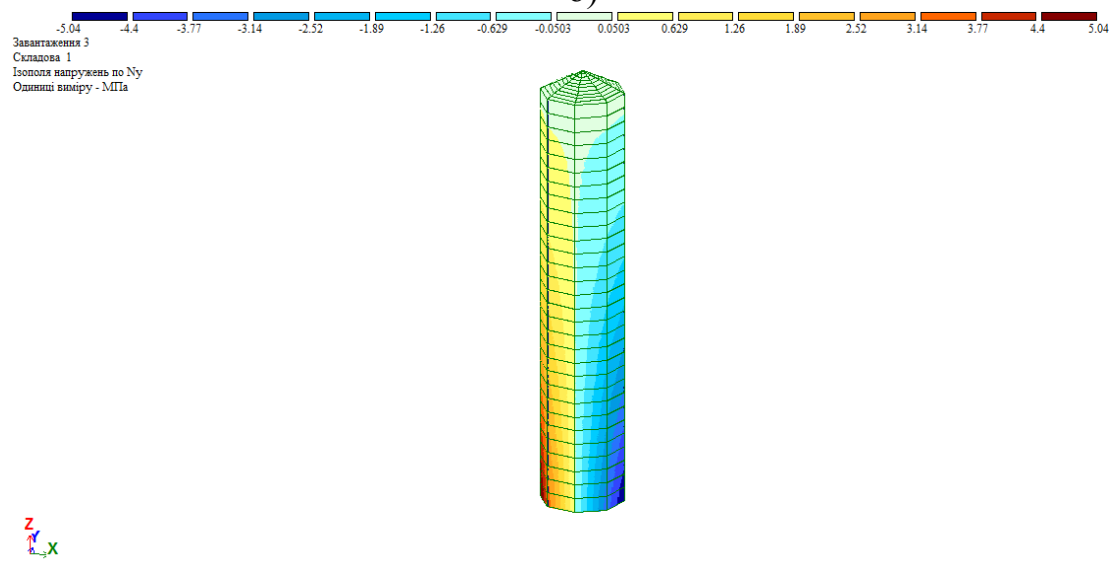
Рисунок 3.4 – Ізополя розподілу згинальних моментів для першої форми коливань:  
 а) ізополя розподілу згинальних моментів по осі  $oy$ ;  
 б) ізополя розподілу згинальних моментів по осі  $ox$ ;  
 в) ізополя розподілу згинальних моментів по осі  $xу$ ;



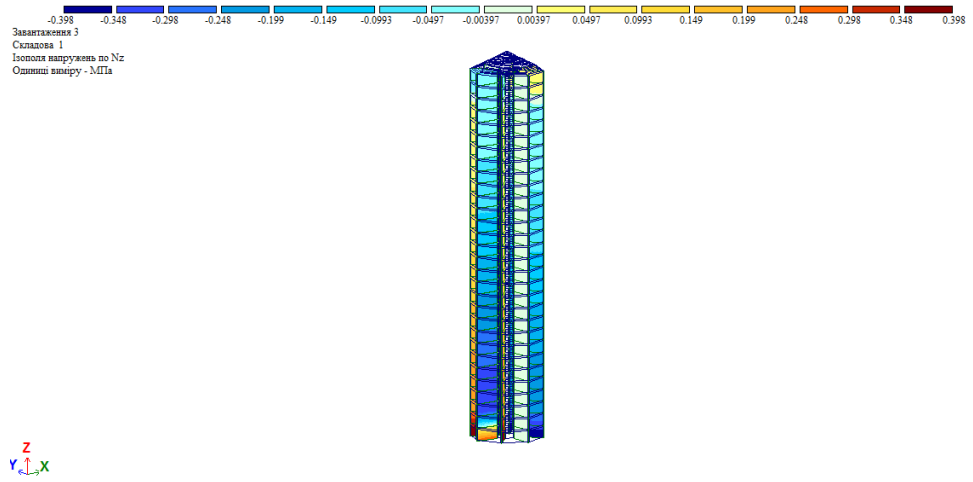
а)



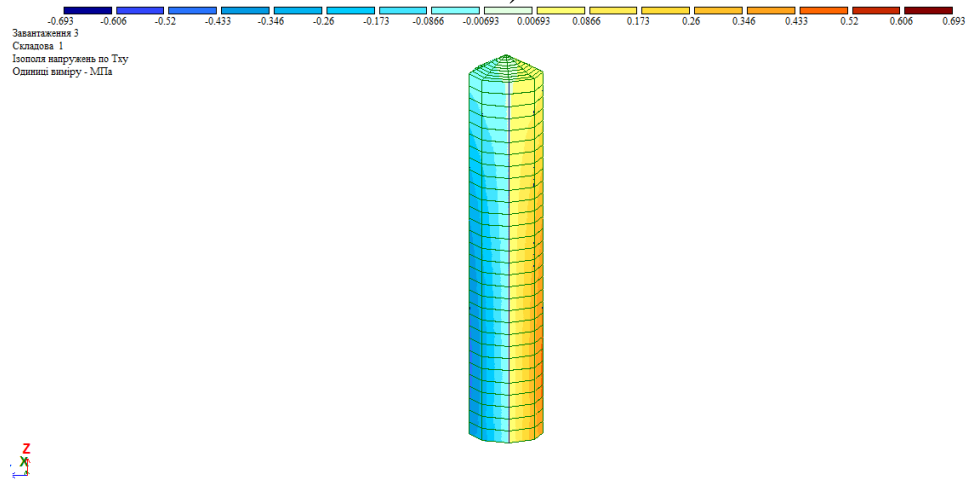
б)



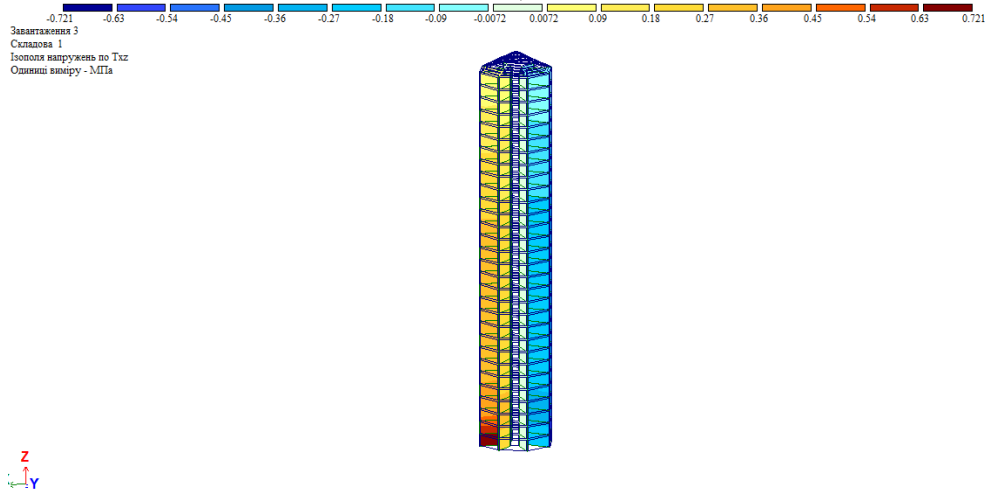
в)



Г)



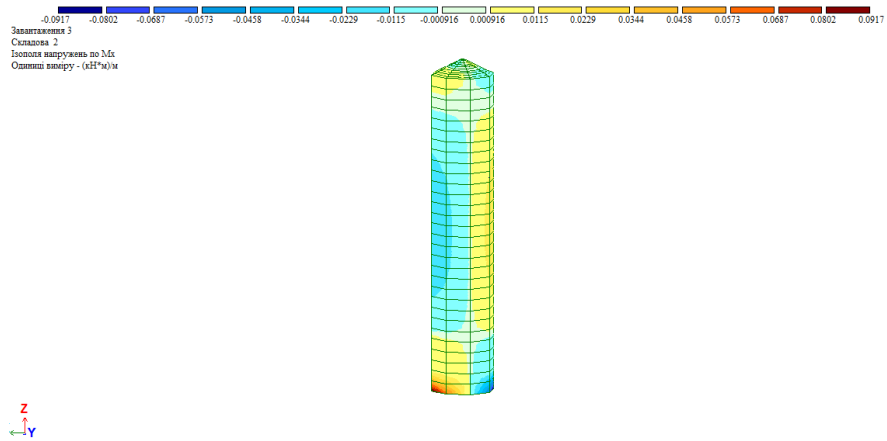
Д)



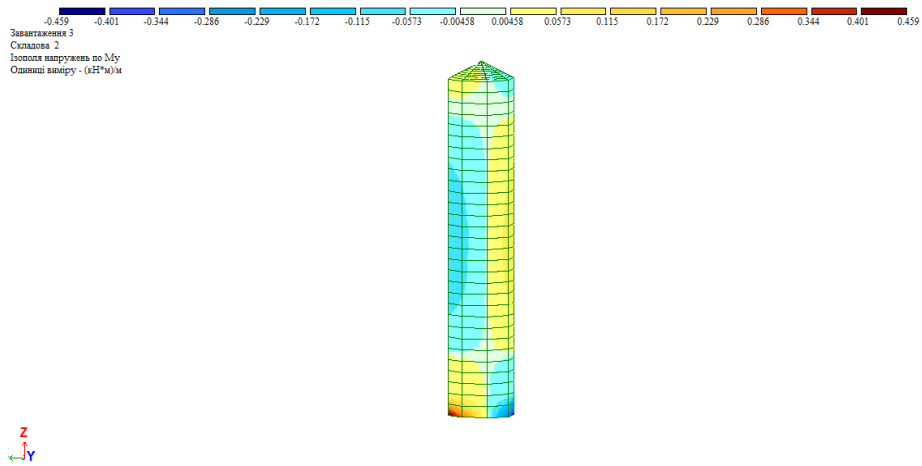
е)

Рисунок 3.5 – Ізополю розподілу внутрішніх зусиль для першої форми коливань:

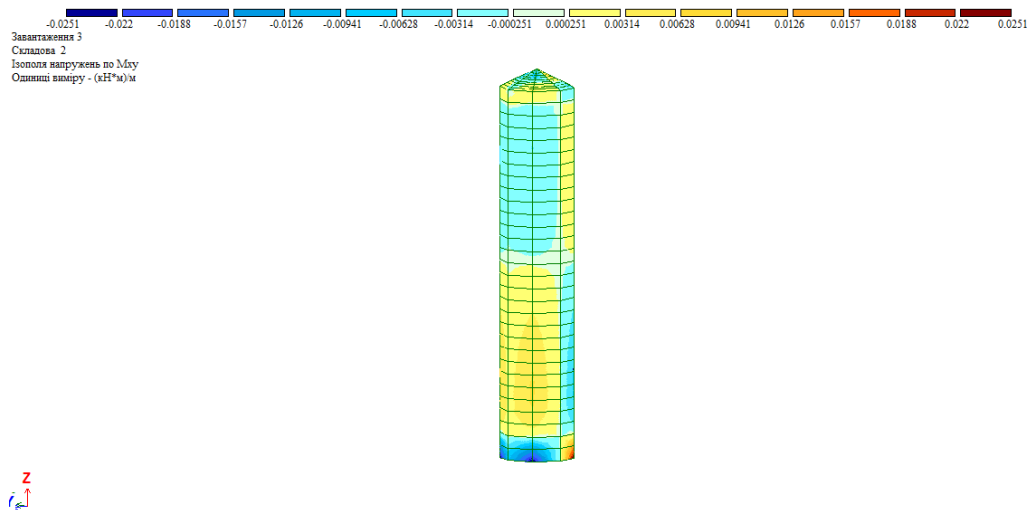
- а) ізополю розподілу  $Q_y$ ;
- б) ізополю розподілу  $\sigma_x$ ;
- в) ізополю розподілу  $\sigma_y$ ;
- г) ізополю розподілу  $\sigma_z$ ;
- д) ізополю розподілу  $\tau_{xy}$
- е) ізополю розподілу  $\tau_{xz}$



а)



б)

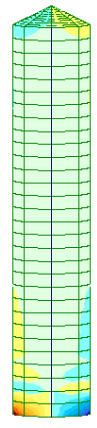


в)

Рисунок 3.6 – Ізополю розподілу згинальних моментів для другої форми коливань:  
 а) ізополю розподілу згинальних моментів по осі  $ox$ ;  
 б) ізополю розподілу згинальних моментів по осі  $oz$ ;  
 в) ізополю розподілу згинальних моментів по осі  $xy$ ;

-1.31 -1.15 -0.984 -0.82 -0.656 -0.492 -0.328 -0.164 -0.0131 0.0131 0.164 0.328 0.492 0.656 0.82 0.984 1.15 1.31

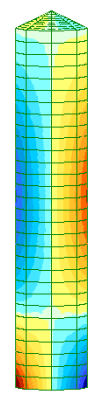
Завантаження 3  
Складова 2  
Ізоплювання напружень по  $\sigma_{xy}$   
Одиниці виміру - кН/м



a)

-0.155 -0.135 -0.116 -0.0967 -0.0773 -0.058 -0.0387 -0.0193 -0.00155 0.00155 0.0193 0.0387 0.058 0.0773 0.0967 0.116 0.135 0.155

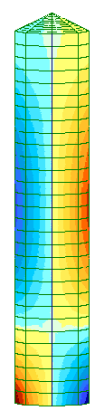
Завантаження 3  
Складова 2  
Ізоплювання напружень по  $\sigma_{xz}$   
Одиниці виміру - МПа



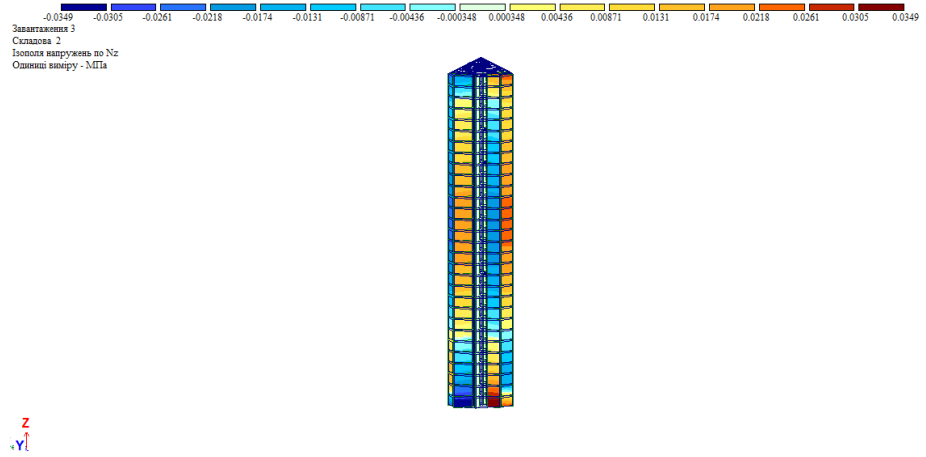
б)

-0.443 -0.387 -0.332 -0.277 -0.221 -0.166 -0.111 -0.0553 -0.00442 0.00442 0.0553 0.111 0.166 0.221 0.277 0.332 0.387 0.443

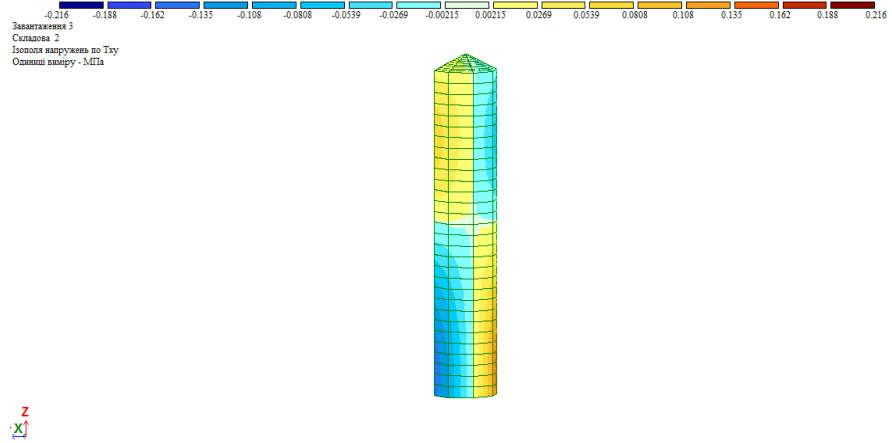
Завантаження 3  
Складова 2  
Ізоплювання напружень по  $\sigma_{yz}$   
Одиниці виміру - МПа



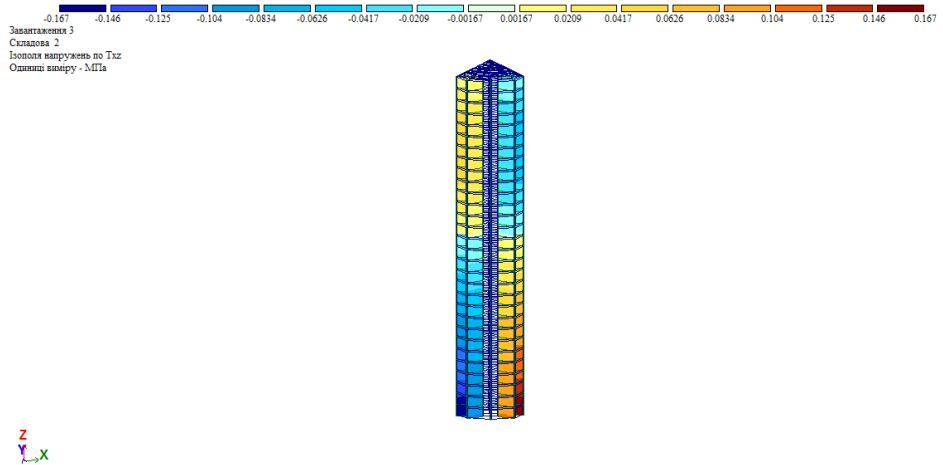
в)



г)



д)



е)

Рисунок 3.7 – Ізополя розподілу внутрішніх зусиль для другої форми коливань:

- а) ізополя розподілу  $Q_y$ ;
- б) ізополя розподілу  $\sigma_x$ ;
- в) ізополя розподілу  $\sigma_y$ ;
- г) ізополя розподілу  $\sigma_z$ ;
- д) ізополя розподілу  $\tau_{xy}$
- е) ізополя розподілу  $\tau_{xz}$



Визначені чисельні значення внутрішніх зусиль в елементах залізобетонного силосу підтверджують те що, силос працює за схемою консольного стержня. Оскільки, в місці з'єднання з фундаментом спостерігається значна концентрація напружень. Характер розподілу напружень- осесиметричний. Величина напружень дозволяє зробити висновок, що руйнування конструкції залізобетонного силосу відбудеться внаслідок втрати стійкості, а не перевищення межі міцності матеріалу.

### **3.2 Висновок до розділу 3**

З використанням ПК «ЛІРА», що базується на скінченно-елементному розрахунку отримано власні частоти та періоди коливань, величини та розподіл напружень, чисельні значення деформацій у залізобетонному силосі за умов сейсмічного впливу. Виявлено, що локалізація напружень, а також характер деформацій в елементах залізобетонного силосу зумовлені сейсмічним навантаження, вказують на режим роботи характерний для консольного стержня. Величина напружень зумовлює висновок, що руйнування конструкції залізобетонного силосу відбудеться внаслідок втрати стійкості, а не перевищення межі міцності матеріалу.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1 Охорона праці

##### 4.1.1 Організація охорони праці працівників на підприємстві

З метою забезпечення сприятливих для здоров'я умов праці, високого рівня працездатності, профілактики травматизму і професійних захворювань, отруєнь та відвернення іншої можливої шкоди для здоров'я на підприємствах, в установах і організаціях різних форм власності повинні встановлюватися єдині санітарно-гігієнічні вимоги до організації виробничих процесів, пов'язаних з діяльністю людей, а також до якості машин, обладнання, будівель та інших об'єктів, які можуть мати шкідливий вплив на здоров'я. Всі державні стандарти, технічні умови і промислові зразки обов'язково погоджуються з органами охорони здоров'я в порядку, встановленому законодавством. Власники і керівники підприємств, установ та організацій зобов'язані забезпечити в їхній діяльності виконання правил техніки безпеки, виробничої санітарії та інших вимог щодо охорони здоров'я, передбачених законодавством, не допускати шкідливого впливу на здоров'я людей (ст. 28 Основ законодавства України про охорону здоров'я).

Власник зобов'язаний створити в кожному структурному підрозділі й на робочому місці умови праці відповідно до вимог нормативних актів, а також забезпечити дотримання прав працівників, гарантованих чинним законодавством.

З цією метою власник забезпечує функціонування системи управління охороною здоров'я, для чого створює на підприємстві підрозділи, які традиційно іменуються службою охорони праці. Типове положення про службу охорони праці затверджене наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 15 листопада 2004 р. № 255. Служба охорони праці створюється на підприємствах з кількістю працюючих 50 і більше осіб. На

підприємстві з кількістю працюючих менше 50 осіб функції служби охорони праці можуть виконувати у порядку сумісництва (суміщення) особи, які мають відповідну підготовку. На підприємстві з кількістю працюючих менше 20 осіб для виконання функцій служби охорони праці можуть залучатися сторонні спеціалісти на договірних засадах, які мають виробничий стаж роботи не менше трьох років і пройшли навчання з охорони праці. Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцю. Ліквідація служби охорони праці допускається тільки у разі ліквідації підприємства чи припинення використання найманої праці фізичною особою.[29]

На службу охорони праці покладено виконання таких завдань. У разі відсутності впровадженої системи якості відповідно до ISO 9001, опрацювання ефективної системи управління охороною праці на підприємстві та сприяння удосконаленню діяльності у цьому напрямку кожного структурного підрозділу і кожного працівника; забезпечення фахової підтримки рішень роботодавця з цих питань; організація проведення профілактичних заходів, спрямованих на усунення шкідливих і небезпечних виробничих факторів, запобігання нещасним випадкам на виробництві, професійним захворюванням та іншим випадкам загрози життю або здоров'ю працівників; вивчення та сприяння впровадженню у виробництво досягнень науки і техніки, прогресивних і безпечних технологій, сучасних засобів колективного та індивідуального захисту працівників; контроль за дотриманням працівниками вимог законів та інших нормативно-правових актів з охорони праці, положень (у разі наявності) галузевої угоди, розділу "Охорона праці", колективного договору та актів з охорони праці, що діють у межах підприємства; інформування та надання роз'яснень працівникам підприємства з питань охорони праці.

#### **4.1.2 Правила поведінки під час виконання робіт з монтажу залізобетонних конструкцій.**

Під час монтажу будівельних конструкцій, крім погодженого і затвердженого у встановленому порядку ПВР, необхідно виконувати вимоги дійсного документа, ДБН "Техніка безпеки в будівництві", ДНАОП 0.00-1.03-93 "Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів, а також інших державних і відомчих нормативних актів і документів з урахуванням змін, які публікуються у журналі "Охорона праці"

Під час монтажу будівельних конструкцій основними шкідливими виробничими факторами слід вважати:

- машини і механізми, що рухаються і працюють, включаючи вантажопідіймальні;
- переміщення при підйомі і установці в проектне положення конструктивних елементів будівельних конструкцій, а також укрупнених блоків будинків і споруд;
- втрату стійкості монтуємих чи змонтованих будівельних майданчиків;
- розташування робочого місця на висоті від поверхні землі, підлоги, міжповерхових перекриттів і робочих чи монтажних площадок;
- недостатню освітленість робочої зони;
- дію вітру на вантажопідіймальні крани, а також на окремо змонтовані будівельні конструкції чи частини будинків і споруд;
- фізичні перевантаження при перенесенні вантажів вручну;
- підвищену чи знижену температуру повітря робочої зони;
- небезпечну і шкідливу дію на людей електричного струму, електричної дуги, електромагнітного випромінювання і статичної електрики;
- вплив підвищеного рівня ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань при виконанні електрозварювальних робіт, а також іонізуючих випромінювань при контролі якості зварених швів;

- токсичний і дратівний вплив на дихальні шляхи газів і аерозолів, що утворюються при зварювальних роботах;
- токсичний і дратівний вплив лакофарбових матеріалів, а також пари від них на дихальні шляхи людини при виконанні антикорозійних робіт;
- використання порохового монтажного інструмента.

Попередження чи зниження впливу на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів, повинно забезпечуватися при:

- пересуванні і роботі машин, механізмів і літальних апаратів - шляхом позначення знаками безпеки небезпечних зон, інженерної підготовки шляхів їх переміщення, а також дотримання правил безпечної їх експлуатації;
- переміщенні конструктивних елементів будівельних конструкцій, а також при втраті стійкості монтуємих чи змонтованих будівельних конструкцій - шляхом дотримання технології виконання робіт, а також прийняття в необхідних випадках інженерно-технічних рішень, що забезпечують несучу здатність цих конструктивних елементів;
- розташуванні робочого місця на висоті від поверхні землі, підлоги, міжповерхових перекриттів і робочих чи монтажних площадок - шляхом прийняття відповідних інженерно-технічних рішень, використання прогресивних засобів підмашування: автомобільних гідравлічних підйомників (АГП), телескопічних підйомників, колисок, навішених на гак вантажопідіймальних кранів, і т.д., а також застосуванням страхувальних пристроїв і пристосувань;
- недостатній освітленості робочої зони - забезпеченням освітленості площадок складування, будмайданчиків, монтажних площадок і робочих місць за спеціально розробленим проектом відповідно до ГОСТ 12.1.046-85 "Норми освітлення будівельних майданчиків";
- дії вітру на вантажопідіймальні механізми, а також на окремо змонтовані будівельні конструкції (ферми, колони і ін.), частини будинків і споруд - шляхом прийняття відповідних інженерно-технічних рішень на підставі перевірочних розрахунків на вітрові навантаження: для вантажів, що

піднімаються кранами, відповідно до вимог ГОСТ "Крани вантажопідіймальні. Навантаження "вітрове" і для окремо змонтованих конструкцій, частин будинків і споруд відповідно до розділу 6 ДБН "Навантаження і впливи", з урахуванням вітрової пульсаційної складової;

- фізичних перевантаженнях - шляхом максимальної механізації ручної праці і дотримання допустимих норм навантажень при підйомі і переміщенні одиночних вантажів вручну, які не повинні перевищувати для жінок 10 кг при сумісництві з іншою роботою і 7 кг постійно на протязі робочої зміни; для чоловіків - максимум 50 кг;

- підвищеній чи зниженій температурі повітря робочої зони - використанням спецодягу, а також дотриманням тривалості робочого дня і перерв у роботі відповідно до діючих нормативних документів;

- дії електричного струму (у всіх його проявах) на організм людини - дотриманням вимог ГОСТ 12.1.013-78 "Електробезпека. Загальні вимоги", ПУЕ, ПТЕ і ПТБ;

- впливі підвищеного рівня ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань, а також газів і аерозолів, що утворюються при виконанні зварювальних роботах і роботах, що їх супроводжують, - дотриманням вимог ГОСТ 12.3.003-86 "Роботи електрозварювальні. Вимоги безпеки", а також нормативних актів і документів, що діють в країні;

- токсичному і дратівному впливі лакофарбових матеріалів і пари від них - з урахуванням ГОСТ 12.3.016-87 "Роботи антикорозійні. Вимоги безпеки" і ГОСТ 12.1.005-76 "Повітря робочої зони. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги";. [22...23]

### 4.1.3 Висновки до підрозділу 4.1

Дотримання вимог, перелічених у даному розділі, забезпечить безпечні умови праці, позбавить травматизму, профзахворювань та виникнення небезпечних факторів, аварій. Покращаться умови праці та виробниче середовище.

У разі порушення норм і правил охорони праці, невиконання колективного договору, наказів роботодавця або розпоряджень органів нагляду за станом охорони праці, внаслідок чого трапилися нещасні випадки, виникли професійні захворювання або інші важкі наслідки настає кримінальна відповідальність.

При виконанні будівельних робіт порушення нормативних і правових актів, а також правил експлуатації будівельних механізмів, якщо це завдало шкоди здоров'ю людей або могло спричинити людські жертви та інші тяжкі наслідки карається позбавленням волі на строк до одного року або виправними роботами на той самий термін, або грошовим стягненням до 20 мінімальних неоподаткованих розмірів заробітної плати.

## **4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

### **4.2.1 Оцінка стійкості об'єкту (цеху) до впливу ударної хвилі ядерного (техногенного) вибуху і заходи щодо підвищення стійкості.**

Шляхи та методи підвищення стійкості функціонування об'єкту (цеху) в умовах надзвичайної ситуації в мирний та воєнний час, доволі різноманітні і визначаються конкретними специфічними особливостями кожного окремого підприємства.

Вибір найбільш ефективних (в тому числі і з економічної точки зору) шляхів і способів підвищення стійкості функціонування об'єкту, можливий тільки на основі всебічної ретельної оцінки кожного підприємства, як об'єкту громадянської оборони.

За критерій стійкості об'єктів до впливу ударної хвилі, беруть максимальне значення надлишкового тиску, при якому будинки, споруди й устаткування зберігаються, або одержують слабкі руйнування (ушкодження). При оцінці стійкості визначають наступне:

- максимальний можливий надлишковий тиск ударної хвилі  $\Delta P_{\Phi \max}$  очікуване на об'єкті;
- виділяють основні елементи на об'єкті, від яких залежить його працездатність;
- визначають надлишковий тиск, при яких будинки, споруди, устаткування одержують слабкі, середні, сильні і повні руйнування;
- визначають межі стійкості кожного виділеного елемента до ударної хвилі щодо надлишковому тиску  $\Delta P_{\Phi \lim}$ , при якому елементи одержують слабкі руйнування;
- визначають межі стійкості об'єкту в цілому до ударної хвилі по мінімальній межі стійкості його складових елементів.

Все це буде залежати від виду і потужності вибуху, відстані до об'єкта, конструкції й розмірів елементів об'єкта, орієнтації відносно вибуху,



розміщення будівель і споруд, рельєфу місцевості, характеру аварії, сили землетрусу чи бурі.

Врахувати їх разом для кожного об'єкта неможливо. Тому опір конструкцій дії вибухової хвилі прийнято характеризувати надмірним тиском у фронті ударної хвилі який призводить до слабких, середніх і сильних руйнувань.

Послідовність проведення оцінювання:

- визначення максимального надмірного тиску ударної хвилі, сейсмічної хвилі чи сили бурі, яка очікується на об'єкті;
- виділення основних елементів на об'єкті (тваринницькі ферми, склади, майстерні, комбикормовий цех, цехи переробки та ін.), від яких залежатиме функціонування об'єкта і виробництво продукції;
- оцінка стійкості кожного елемента об'єкта;
- порівняння розрахованої межі стійкості об'єкта з очікуваним максимальним надмірним тиском ударної хвилі сейсмічної хвилі чи сили бурі.
- визначення ступеня можливих руйнувань за таблицею результатів оцінки для елементів об'єкта при можливому і максимальному значенні надмірного тиску, тиску сейсмічної хвилі чи сили бурі і можливі при цьому втрати (відсотки).

На основі результатів оцінки стійкості об'єкта роблять висновки і пропозиції по кожному елементу і об'єкту в цілому: межа стійкості об'єкта, найбільш вразливі його елементи, характер і ступінь руйнувань при максимальному надмірному тиску, сильному землетрусі і урагані, можливі збитки; межа доцільного підвищення стійкості найбільш вразливих елементів об'єкта і пропозиції (заходи) для підвищення межі стійкості об'єкта.

Такими заходами можуть бути:

- укріплення несучих конструкцій та перекрить будівель установкою додаткових колон, ферм, контрфорсів або підкосів;
- розміщення обладнання на нижніх поверхах будівель або в підвалах, надійне закріплення на фундаменті;

#### **4.2.2. Організація і проведення досліджень з оцінки стійкості об'єкту (цеху, агрегата і т.п.) в НС. Розробка заходів щодо підвищення стійкості промислового об'єкту**

Оцінювання стійкості роботи об'єкту – це всебічне вивчення підприємства з погляду здатності його протистояти впливу вражаючих факторів ядерного вибуху, відновлення виробництва при одержанні середніх і слабких руйнувань.

Мета дослідження складається в тому, щоб виявити уразливі місця в роботі об'єкту у воєнний час і виробити найбільш ефективні пропозиції і рекомендації, спрямовані на підвищення його стійкості. Надалі ці рекомендації включаються в план заходів щодо підвищення стійкості роботи об'єкту, що і реалізується.

Дослідження стійкості підприємств проводиться силами інженерно-технічного персоналу із залученням фахівців науково-дослідних і проектних організацій, пов'язаних із даним підприємством. Організатором і керівником дослідження є керівник підприємства – начальник ЦО об'єкту.

Весь процес планування і проведення дослідження можна розділити на три етапи: перший – підготовчий, другий – оцінка стійкості роботи об'єкту в умовах воєнного часу, третій – розробка заходів, що підвищують стійкість роботи об'єкту.

На першому етапі розробляються керівні документи, визначається склад учасників дослідження й організується їхня підготовка.

Основними документами для організації дослідження стійкості роботи об'єкту є: наказ керівника підприємства; календарний план основних заходів щодо підготовки до проведення дослідження; план проведення дослідження.

Наказ директора підприємства (керівника дослідження) розробляється на підставі вказівок старшого начальника з урахуванням особливостей і

конкретних умов, пов'язаних із виробничою діяльністю об'єкту. У наказі вказуються: мета і задачі майбутнього дослідження, час проведення робіт, склад учасників і задачі дослідницьких груп, терміни готовності звітної документації.

Календарний план підготовки до проведення дослідження визначає основні заходи і терміни їхнього проведення, відповідальних виконавців, сили і засоби, які беруть участь у поставлених задачах.

План проведення дослідження стійкості роботи об'єкту є основним документом, що визначає зміст роботи керівника дослідження і дослідницьких груп головних фахівців. У плані вказуються: тема, мета і тривалість дослідження, склад слідчих груп і зміст їхньої роботи, порядок дослідження. Тривалість дослідження встановлюється в залежності від обсягу робіт і підготовленості учасників, залучених до виконання задач, і може складати два – три місяці.

Залежно від складу основних виробничо-технічних служб на об'єкті можуть створюватися такі дослідницькі групи:

- начальника відділу капітального будівництва;
- головного енергетика;
- головного технолога;
- головного механіка;
- відділу матеріально-технічного постачання та ін.

Крім того, створюється група штабу ЦО об'єкту, в яку входять начальники служб оповіщення і зв'язку, протирадіаційного і протихімічного захисту сховищ і ПРУ, медична, охорони суспільного порядку, матеріально-технічного постачання.

Для узагальнення отриманих результатів і подання загальних пропозицій створюється група керівника дослідження на чолі з головним інженером чи начальником виробничого відділу. Чисельність дослідницьких груп залежить від обсягу розв'язуваних задач, специфіки виробництва і може складати 5 – 10

чоловік. Притягнуті до досліджень представники зовнішніх організацій беруть участь у роботі відповідних груп.

Підвищення стійкості об'єкта досягається посиленням найбільш слабких (вражаючих) елементів і ділянок об'єкту. Для цього на кожному ОНГ завчасно на основі досліджень планують і проводять відповідні організаційні й інженерно-технічні заходи. Досягнення науки і техніки дозволяють реалізувати такі рішення, при яких підприємство буде стійке до впливу дуже значних надлишкових тисків, однак це пов'язано з великими витратами засобів і матеріалів і може бути виправдано лише при захисті унікальних, особливо важливих елементів об'єкту. Заходи будуть економічно обґрунтовані, якщо вони максимально узгоджені із завданнями, які розв'язуються в мирний час для забезпечення безаварійної роботи, поліпшення умов праці, удосконалювання виробничого процесу.

#### **4.2.3 Висновки до підрозділу 4.2**

Будівельна галузь як структурна ланка сучасної економіки України характеризується комплексом чинників, які зумовлюють колективну і індивідуальну безпеку людей як на етапі спорудження об'єктів будівництва, так і на етапі їх експлуатації. Визначальним чинником для дотримання необхідних умов безпеки є Державні будівельні норми, які охоплюють вимоги до конструкцій, матеріалів, технології спорудження будівельної продукції. Поряд з цим в країні існує мережа контролюючих інстанцій, які призначені для вчасного попередження і виявлення відхилень, які можуть негативно вплинути на експлуатаційні параметри будівель і споруд, стати причиною аварії, зумовити матеріальні витрати і людські жертви. Дотримання встановлених вимог з безпеки життєдіяльності є одним з вузлових питань будівельної галузі.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. З'ясовано особливості роботи та розрахунку залізобетонних силосів при дії сейсмічних навантажень. Виявлено значну трудомісткість розрахунків залізобетонних силосів при дії сейсмічних навантажень за допомогою аналітичних методів.

2. Проведено аналіз методичних аспектів дослідження НДС в залізобетонному силосі при дії сейсміки з використанням сучасних обчислювальних засобів і програмних комплексів. Визначено геометричні параметри та фізико-механічні характеристики матеріалу залізобетонного силосу. Запропоновано методику дослідження з використанням ПК «ЛІРА».

3. З використанням ПК «ЛІРА», що базується на методі скінченних елементів, визначено власні частоти та періоди коливань, величини та розподіл напружень, чисельні значення деформацій у залізобетонному силосі за умов сейсмічного впливу.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.
2. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення : ДБН В.2.6-98:2009. – Чинний від 01.06.2011. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 63 с.
3. Павліков А.М. Розрахунок міцності нормальних перерізів балкових елементів за нелінійною деформаційною моделлю (на основі ДБН В.2.6-98:2009): навчальний посібник / А.М. Павліков, О.В. Гарькава. За ред. А.М. Павлікова. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – 83 с.
4. Указания по проектированию силосов для сыпучих материалов: СН 302-65. – М. : Стройиздат, 1965. – 79 с.
5. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування : ДСТУ Б В.2.6-156:2010. – Чинний від 01.06.2011. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 87 с.
6. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. – Чинний від 01.11.2011. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с.
7. Споруди транспорту. Метрополітени : ДБН В.2.3-7:2010. – Чинний від 01.10.2011. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 201 с.
8. Містобудування. Планування та забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92\*\*. – Чинний від 19.04.2002. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2002. – 136 с.
9. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд, будівельних конструкцій та основ : ДБН В.1.2-14:2009. – Чинний від 01.12.2009. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 37 с.
10. Будівництво в сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2014. – Чинний від 01.10.2014. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. – 118 с.
11. Егупов, В. К. Расчет зданий на сейсмические воздействия [Текст]: учеб, пособие / В. К. Егупов, Т. А. Командрин. – К.: Будівельник, 1969. – 207с.

12. Корчинский, И. Л. Сейсмостойкое строительство зданий [Текст]: учеб. пособие для вузов / И. Л. Корчинский, Л. А. Бородин, А. Б. Гроссман; под ред. И. Л. Корчинского. – М.: Высшая школа, 1971. – 320 с
13. Уздин, А. М. Основы теории сейсмостойкости и сейсмостойкого строительства зданий и сооружений [Текст]: учеб. пособие / А. М. Уздин, Т. А. Сандович. – С.-Петербург: изд-во ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1993. – 176 с
14. Sarria Molina, Alberto Ingenieria Sismica. Santa Fe de Bogota [Text] / Alberto Sarria Molina // ECOE ediciones, Ediciones UNIANDES, 1995.
15. Особенности расчета высотного промышленного сооружения на сейсмические воздействия [Текст]: зб. наук. пр. –К.: ТОВ «Видавництво Сталь» ДП НДІБК. – 2012. – Вип. 76. – С. 111-121.
16. Геодезичні роботи у будівництві: ДБН В.1.3-2:2010. – Чинний від 01.09.2010. –Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 70 с.
17. Bruno, R. J. Identification of Nonlinear Joints in a Truss Structure [Текст] / R. J. Bruno // Proceedings of the American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) / American Society of Mechanical Engineers (ASME) Adaptive Structures Forum, Hilton Head, SC. – Washington, 1994. – P. 402–410.
18. Khdeir A. A. Thermal effects on the response of crossply laminated shallow shells. Int. J. Solids and Struct. –1992. – 29, No5. – P. 653-667.
19. Практичний розрахунок елементів залізобетонних конструкцій за ДБН В.2.6-98:2009 у порівнянні з розрахунками за СНиП 2.03.01-84\* і EN 1992-1-1 (Eurocode 2) /В. М. Бабаєв, В. С. Шмуклер, А. М. Бамбура, О. М. Пустовойтова, П. А. Резнік,Є. Г. Стоянов. – Харків : Золоті сторінки, 2015. – 206 с.
20. Байков В. Н. Железобетонные конструкции. Общий курс / В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов. – 5-ое издание. – М. : Стройиздат, 1991. – 767 с.
21. Железобетонные конструкции. Специальный курс / В. Н. Байков, П. Ф. Дроздов, И. А. Трифонов и др.; под ред. В. Н. Байкова. – 3-е изд., перераб. – М. :Стройиздат, 1981. – 767 с.
22. Масюк Г.Х. Залізобетонні конструкції інженерних споруд промислових підприємств: Навчальний посібник / Г.Х. Масюк – Рівне :

НУВГП, 2011. – 212 с.

23. Барашиков А.Я. Будівельні конструкції / А.Я. Барашиков, В.М. Колякова // Підручник для студентів вищих навчальних закладів. – К. : Видавничий дім «Слово», 2011. – 256 с.

24. Будівельні конструкції: навчальний посібник / Ю.Л. Винников, С.Ф. Пічугін, О.О. Довженко, А.О. Дмитренко. – Полтава : ТОВ «АСМІ», 2015. – 400 с.

25. Сборный железобетон в подземном строительстве / В. И. Беспалый, И. Я. Бялер, Н. Г. Карсницкий, Л. Д. Сапрыкин. – Киев : Госстройиздат УССР, 1961. – 248 с.

26. Расчет железобетонных и каменных конструкций: учебное пособие для строительных вузов / В. М. Бондаренко, А. И. Судницын, В. Г. Назаренко; под ред. В. М. Бондаренко. – М.: Высшая школа, 1988. – 304 с.

27. Вайнберг Д. В. Расчет пластин / Д. В. Вайнберг, Е. Д. Вайнберг. – Киев : Будівельник, 1970. – 436 с. Власов В. З. Тонкостенные пространственные системы / В. З. Власов. – М. : Госстройиздат, 1958. – 488 с.

28. Латышев Б. В. Практические методы расчета железобетонных силосных корпусов / Б. В. Латышев. – Л.: Стройиздат, 1973. – 112 с.

29. Леденев В. В. Проектирование конструкций специальных инженерных сооружений / В. В. Леденев, В. Г. Однолько, В. П. Ярцев. – Тамбов, 1991. – 99 с. 40. Липницкий М. Е. Железобетонные бункера и силосы (расчет и проектирование) / М. Е. Липницкий, Ж. Р. Абрамович. – Л. : Стройиздат, 1967. – 193 с.

30. Справочник проектировщика инженерных сооружений. / Под ред. Д.А.Коршунова. – 2-е изд., перераб. – К.: Будивельник, 1988. – 352с.

31. Липницкий М.Е., Абрамович Ж.Р. Проектирование железобетонных бункеров и силосов. М., Госстройиздат, 1960.

32. Липницкий М.Е., Абрамович Ж.Р. Железобетонные бункера и силосы(расчет и проектирование). М., Стройиздат, 1967.